



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0036778
(43) 공개일자 2023년03월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01M 8/04992 (2016.01) G06N 3/08 (2023.01)
G06N 5/02 (2023.01) H01M 8/04664 (2016.01)
(52) CPC특허분류
H01M 8/04992 (2013.01)
G06N 3/08 (2023.01)
(21) 출원번호 10-2021-0119651
(22) 출원일자 2021년09월08일
심사청구일자 2021년09월08일

(71) 출원인
울산대학교 산학협력단
울산광역시 남구 대학로 93(무거동)
(72) 발명자
안경관
울산광역시 남구 대공원로 207, 102동 402호(신정동, 대공원 월드메르디앙)
판, 반 두
울산광역시 남구 대학로33번길 30-29, 103호(무거동)
(74) 대리인
김정수

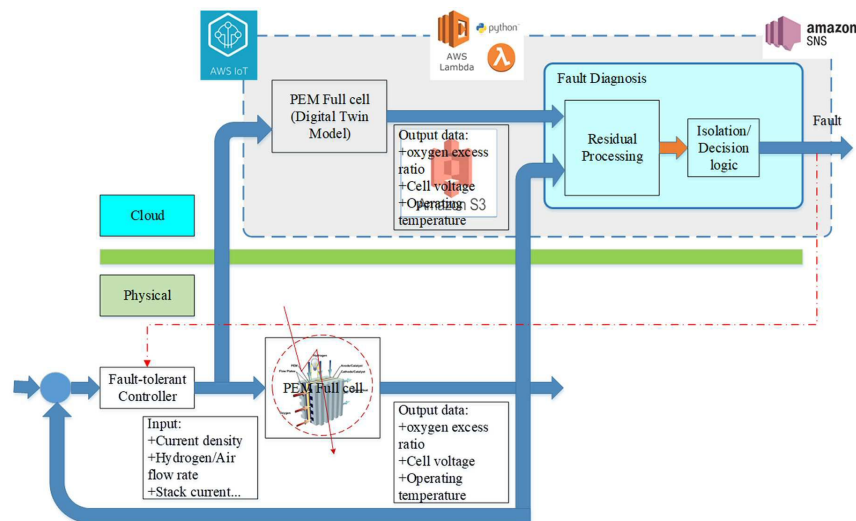
전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 연료전지 시스템의 고장 진단 방법 및 이를 수행하는 디지털 트윈 장치

(57) 요약

연료전지 시스템의 고장 진단 방법 및 이를 수행하는 디지털 트윈 장치가 개시된다. 연료전지 시스템의 고장 진단 방법은, 연료전지 시스템에 대하여 디지털 트윈 데이터를 수집하여 미리 설정된 클라우드에 저장하는 단계, 디지털 트윈 데이터를 학습 데이터로 하여 학습을 수행한 후, 연료전지 시스템의 물리적 센서에 대응하는 가상센서의 가상센서 데이터를 산출하여 디지털 트윈 모델을 생성하는 단계, 연료전지 시스템으로부터 물리적 센서 데이터를 획득하는 단계, 획득된 물리적 센서 데이터와 산출된 가상센서 데이터의 잔차(Residual)를 계산하여 잔차 데이터를 생성하는 단계, 생성된 잔차 데이터를 학습 데이터로 하여 학습을 수행한 후, 잔차 데이터를 분류하여 고장 분류를 수행하는 단계 및 고장 분류의 수행에 따라 연료전지 시스템에 대하여 내결함성 제어(Fault tolerant control)를 수행하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G06N 5/02 (2023.01)

H01M 8/04664 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711110290
과제번호	2020R1A2B5B03001480
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	중견연구자지원사업
연구과제명	유체마찰전기 기반의 고효율 에너지 수확장치 개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	울산대학교
연구기간	2020.03.01 ~ 2023.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345341781
과제번호	2021RIS-003
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	지자체-대학 협력기반 지역혁신사업
연구과제명	수소 건설기계 가상화 시스템 및 응용 기술 개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	울산대학교
연구기간	2021.03.01 ~ 2022.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

디지털 트윈 장치가 수행하는 연료전지 시스템의 고장 진단 방법에 있어서,

상기 연료전지 시스템에 대하여 디지털 트윈 데이터를 수집하여 미리 설정된 클라우드에 저장하는 단계;

상기 디지털 트윈 데이터를 학습 데이터로 하여 학습을 수행한 후, 상기 연료전지 시스템의 물리적 센서에 대응하는 가상센서의 가상센서 데이터를 산출하여 디지털 트윈 모델을 생성하는 단계;

상기 연료전지 시스템으로부터 물리적 센서 데이터를 획득하는 단계;

상기 획득된 물리적 센서 데이터와 상기 산출된 가상센서 데이터의 잔차(Residual)를 계산하여 잔차 데이터를 생성하는 단계;

상기 생성된 잔차 데이터를 학습 데이터로 하여 학습을 수행한 후, 잔차 데이터를 분류하여 고장 분류를 수행하는 단계; 및

상기 고장 분류의 수행에 따라 상기 연료전지 시스템에 대하여 내결함성 제어(Fault tolerant control)를 수행하는 단계를 포함하는 연료전지 시스템의 고장 진단 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 디지털 트윈 데이터는,

상기 연료전지 시스템의 각 구성에 설치된 각종 센서로부터 출력되는 센서 데이터; 및

상기 센서 데이터에 따른 상기 내결함성 제어를 위하여 상기 연료전지 시스템으로 입력하는 제어입력 데이터를 포함하는 것을 특징으로 하는 연료전지 시스템의 고장 진단 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 디지털 트윈 모델을 생성하는 단계는,

상기 디지털 트윈 데이터로부터 제1 다층 퍼셉트론 신경망(MLPNN: Multi-Layer Perceptron Neural Network)을 사용하는 복수의 가상센서를 설정하고, 상기 복수의 가상센서의 출력을 추정하여 상기 가상센서 데이터를 생성하되,

상기 제1 다층 퍼셉트론 신경망은 NBN(Neuron by Neuron) 최적화 알고리즘을 이용하여 학습하는 것을 특징으로 하는 연료전지 시스템의 고장 진단 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 고장 분류를 수행하는 단계는,

상기 잔차 데이터를 학습 데이터로 하여 제2 다층 퍼셉트론 신경망을 생성하고, NBN 최적화 알고리즘을 이용하여 상기 생성된 제2 다층 퍼셉트론 신경망을 학습시키고, 상기 학습이 완료되면 상기 제2 다층 퍼셉트론 신경망

의 출력 데이터가 미리 설정된 임계치를 초과하는지를 판단하고, 초과하는 경우의 센서가 위치하는 상기 연료전지 시스템의 구성을 고장으로 검출하는 것을 특징으로 하는 연료전지 시스템의 고장 진단 방법.

청구항 5

연료전지 시스템의 고장을 진단하는 디지털 트윈 장치에 있어서,

명령어를 저장하는 메모리; 및

상기 명령어를 실행하는 프로세서를 포함하되,

상기 명령어는,

상기 연료전지 시스템에 대하여 디지털 트윈 데이터를 수집하여 미리 설정된 클라우드에 저장하는 단계;

상기 디지털 트윈 데이터를 학습 데이터로 하여 학습을 수행한 후, 상기 연료전지 시스템의 물리적 센서에 대응하는 가상센서의 가상센서 데이터를 산출하여 디지털 트윈 모델을 생성하는 단계;

상기 연료전지 시스템으로부터 물리적 센서 데이터를 획득하는 단계;

상기 획득된 물리적 센서 데이터와 상기 산출된 가상센서 데이터의 잔차(Residual)를 계산하여 잔차 데이터를 생성하는 단계;

상기 생성된 잔차 데이터를 학습 데이터로 하여 학습을 수행한 후, 잔차 데이터를 분류하여 고장 분류를 수행하는 단계; 및

상기 고장 분류의 수행에 따라 상기 연료전지 시스템에 대하여 내결함성 제어(Fault tolerant control)를 수행하는 단계를 포함하는 연료전지 시스템의 고장 진단 방법을 수행하는 것을 특징으로 하는 디지털 트윈 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 연료전지 시스템의 고장 진단 방법 및 이를 수행하는 디지털 트윈 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 양성자 교환막 연료전지(PEMFC: Proton exchange membrane fuel cells)는 친환경성, 높은 전력 밀도 및 낮은 유지보수 요구사항으로 인하여, 최근 몇 년 동안 점점 더 관심을 받아왔다. 그럼에도 불구하고, 동적 로딩 프로세스(dynamic loading process)에는 안전하지 않은 경우에도 성능에 영향을 줄 수 있는 문제와 결함이 존재한다. 게다가, PEMFC의 고장 검출 및 분리(FDI: Fault Detection and Isolation)를 포함하는 고장 진단은 PEMFC 시스템을 제어하는데 큰 어려움을 야기한다. 전통적인 FDI 시스템은 데이터 기반이거나 물리적 모델을 기반으로 한다. 실제 기계에서 예측 유지보수 알고리즘을 학습하는데 필요한 고장 조건을 생성하는 것은 종종 매우 어렵다. 더욱이, 물리적으로 수집된 데이터는 수집 조건과 기록된 특정 요소에 의하여 제한되는 경우가 많다. 시스템의 모델이 수많은 센서와 액추에이터를 통해 실시간 데이터와 연관된 디지털 트윈 형태로 개발될 수 있다는 것은 주목할 만하다.

[0003] 차세대 FDI 시스템으로서, 스마트 제조 기술인 디지털 트윈은, PEMFC가 동작하는 동안 모드 고장을 감지할 뿐만 아니라, 고장을 분리할 수 있다. 이 디지털 트윈과 물리적 플랜트를 비교하면, 중요한 구성 요소의 노후화를 모니터링하고, 초기 단계에서 이상 징후를 감지 및 분리할 수 있다. 기본 물리학은 변칙적 행동의 원인을 분리할 수 있게 하여, 효과적인 자가 치유 또는 특정 하드웨어 유지 관리를 가능하게 할 수 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 대한민국등록특허공보 제10-1418180호(2014.07.03)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명은 연료전지 시스템에 대하여 디지털 트윈(DT: Digital Twin) 데이터를 수집하여 클라우드(Cloud)에 저장하고, 클라우드에 저장된 디지털 트윈 데이터를 이용하여 연료전지 시스템을 모니터링하여 고장을 감지 및 분리하고, 연료전지 시스템에 대하여 내결함성 제어(Fault tolerant control)를 하는 연료전지 시스템의 고장 진단 방법 및 이를 수행하는 디지털 트윈 장치를 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 발명의 일 측면에 따르면, 디지털 트윈 장치가 수행하는 연료전지 시스템의 고장 진단 방법이 개시된다.

[0007] 본 발명의 실시예에 따른 연료전지 시스템의 고장 진단 방법은, 상기 연료전지 시스템에 대하여 디지털 트윈 데이터를 수집하여 미리 설정된 클라우드에 저장하는 단계, 상기 디지털 트윈 데이터를 학습 데이터로 하여 학습을 수행한 후, 상기 연료전지 시스템의 물리적 센서에 대응하는 가상센서의 가상센서 데이터를 산출하여 디지털 트윈 모델을 생성하는 단계, 상기 연료전지 시스템으로부터 물리적 센서 데이터를 획득하는 단계, 상기 획득된 물리적 센서 데이터와 상기 산출된 가상센서 데이터의 잔차(Residual)를 계산하여 잔차 데이터를 생성하는 단계, 상기 생성된 잔차 데이터를 학습 데이터로 하여 학습을 수행한 후, 잔차 데이터를 분류하여 고장 분류를 수행하는 단계 및 상기 고장 분류의 수행에 따라 상기 연료전지 시스템에 대하여 내결함성 제어(Fault tolerant control)를 수행하는 단계를 포함한다.

[0008] 상기 디지털 트윈 데이터는, 상기 연료전지 시스템의 각 구성에 설치된 각종 센서로부터 출력되는 센서 데이터 및 상기 센서 데이터에 따른 상기 내결함성 제어를 위하여 상기 연료전지 시스템으로 입력하는 제어입력 데이터를 포함한다.

[0009] 상기 디지털 트윈 모델을 생성하는 단계는, 상기 디지털 트윈 데이터로부터 제1 다층 퍼셉트론 신경망(MLPNN: Multi-Layer Perceptron Neural Network)을 사용하는 복수의 가상센서를 설정하고, 상기 복수의 가상센서의 출력을 추정하여 상기 가상센서 데이터를 생성하되, 상기 제1 다층 퍼셉트론 신경망은 NBN(Neuron by Neuron) 최적화 알고리즘을 이용하여 학습한다.

[0010] 상기 고장 분류를 수행하는 단계는, 상기 잔차 데이터를 학습 데이터로 하여 제2 다층 퍼셉트론 신경망을 생성하고, NBN 최적화 알고리즘을 이용하여 상기 생성된 제2 다층 퍼셉트론 신경망을 학습시키고, 상기 학습이 완료되면 상기 제2 다층 퍼셉트론 신경망의 출력 데이터가 미리 설정된 임계치를 초과하는지를 판단하고, 초과하는 경우의 센서가 위치하는 상기 연료전지 시스템의 구성을 고장으로 검출한다.

[0011] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 연료전지 시스템의 고장을 진단하는 디지털 트윈 장치가 개시된다.

[0012] 본 발명의 실시예에 따른 디지털 트윈 장치는, 명령어를 저장하는 메모리 및 상기 명령어를 실행하는 프로세서를 포함하되, 상기 명령어는, 상기 연료전지 시스템에 대하여 디지털 트윈 데이터를 수집하여 미리 설정된 클라우드에 저장하는 단계, 상기 디지털 트윈 데이터를 학습 데이터로 하여 학습을 수행한 후, 상기 연료전지 시스템의 물리적 센서에 대응하는 가상센서의 가상센서 데이터를 산출하여 디지털 트윈 모델을 생성하는 단계, 상기 연료전지 시스템으로부터 물리적 센서 데이터를 획득하는 단계, 상기 획득된 물리적 센서 데이터와 상기 산출된 가상센서 데이터의 잔차(Residual)를 계산하여 잔차 데이터를 생성하는 단계, 상기 생성된 잔차 데이터를 학습 데이터로 하여 학습을 수행한 후, 잔차 데이터를 분류하여 고장 분류를 수행하는 단계 및 상기 고장 분류의 수행에 따라 상기 연료전지 시스템에 대하여 내결함성 제어(Fault tolerant control)를 수행하는 단계를 포함하는 연료전지 시스템의 고장 진단 방법을 수행한다.

발명의 효과

[0013] 본 발명의 실시예에 따른 연료전지 시스템의 고장 진단 방법 및 이를 수행하는 디지털 트윈 장치는, 연료전지 시스템에 대하여 디지털 트윈(DT: Digital Twin) 데이터를 수집하여 클라우드(Cloud)에 저장하고, 클라우드에 저장된 디지털 트윈 데이터를 이용하여 연료전지 시스템을 모니터링하여 고장을 감지 및 분리하고, 연료전지 시

시스템에 대하여 내결함성 제어(Fault tolerant control)를 함으로써, 고장의 영향을 처리하여 연료전지 시스템이 정상 동작하게 할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 디지털 트윈 장치가 구현되는 시스템의 개념을 나타낸 도면.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 디지털 트윈 장치가 수행하는 연료전지 시스템의 고장 진단 방법을 나타낸 흐름도.

도 3은 연료전지 시스템의 출력 및 제어 입력을 나타낸 도면.

도 4는 도 2의 본 발명의 실시예에 따른 연료전지 시스템의 고장 진단 방법을 개념적으로 나타낸 도면.

도 5는 학습을 이용한 고장 진단 방법의 예를 나타낸 도면.

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 디지털 트윈 장치의 구성을 개략적으로示意하여 나타낸 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] 본 명세서에서 사용되는 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "구성된다" 또는 "포함한다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 여러 구성 요소들, 또는 여러 단계들을 반드시 모두 포함하는 것으로 해석되지 않아야 하며, 그 중 일부 구성 요소들 또는 일부 단계들은 포함되지 않을 수도 있고, 또는 추가적인 구성 요소 또는 단계들을 더 포함할 수 있는 것으로 해석되어야 한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "모듈" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어 또는 소프트웨어로 구현되거나 하드웨어와 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.

[0016] 이하, 본 발명의 다양한 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 상술하겠다.

[0017] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 디지털 트윈 장치가 구현되는 시스템의 개념을 나타낸 도면이다.

[0018] 도 1을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 디지털 트윈 장치가 구현되는 시스템은, 클라우드(Cloud)에 형성되는 가상 계층 및 물리 계층으로 구성될 수 있다.

[0019] 물리 계층의 내결함성 제어기(FTC: Fault Tolerant Controller)는 양성자 교환막 연료전지(PEMFC: Proton exchange membrane fuel cells, 이하 PEMFC라 함) 시스템이 고장 발생으로 파괴될 수 있는 위험을 감소시키도록 설계된다.

[0020] 여기서, PEMFC 시스템은 수소 회로 고장, 공기 압축기 고장 및 전체 전지 고장과 같은 다양한 고장이 발생할 수 있다. 예를 들어, 수소 회로 고장에는 수소의 막힘, 누출 등이 있고, 공기 압축기 고장에는 단락, 과전압 등으로 인한 전기 고장, 크랭크축의 실속으로 인한 기계적 고장, 압축 효과의 감소로 인한 수력학적 고장 등이 있고, 전체 전지 고장에는 건조, 범람 등이 있다.

[0021] 이때, PEMFC 시스템에서 입출력되는 데이터는 기록되어 클라우드 플랫폼으로 전송된다. 예를 들어, 클라우드 플랫폼에는, 마이크로소프트, 아마존 등과 같은 클라우드 플랫폼 서비스 제공업체가 제공하는 Microsoft Azure 클라우드, AWS(Amazon Web Services) 클라우드 등이 될 수 있다.

[0022] 도 1에서, PEMFC 시스템은 고장 진단 대상으로서 예를 든 것일 뿐 이에 한정되는 것은 아니다. 즉, 본 발명의 실시예에 따른 디지털 트윈 장치는 양성자 교환막 연료전지 시스템 뿐만 아니라 다양한 형태의 연료전지 시스템에 적용될 수 있다. 이하에서는, 발명의 이해와 설명의 편의를 위하여 고장 진단 대상을 연료전지 시스템으로 통칭하여 설명하기로 한다.

[0023] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 디지털 트윈 장치가 수행하는 연료전지 시스템의 고장 진단 방법을 나타낸 흐름도이고, 도 3은 연료전지 시스템의 출력 및 제어 입력을 나타낸 도면이고, 도 4는 도 2의 본 발명의 실시예에 따른 연료전지 시스템의 고장 진단 방법을 개념적으로 나타낸 도면이고, 도 5는 학습을 이용한 고장 진단 방법의 예를 나타낸 도면이다. 이하, 본 발명의 실시예에 따른 디지털 트윈 장치가 수행하는 연료전지 시스템의 고장 진단 방법에 대하여 도 2를 중심으로 설명하되, 도 3 내지 도 5를 참조하기로 한다.

[0024] S210 단계에서, 디지털 트윈 장치는, 연료전지 시스템에 대하여 디지털 트윈(DT: Digital Twin, 이하 DT라 함) 데이터를 수집하여 미리 설정된 클라우드에 저장한다.

- [0025] 예를 들어, 디지털 트윈 장치는 도 3에 도시된 바와 같이, 연료전지 시스템의 각 구성에 설치된 각종 센서로부터 출력되는 센서 데이터 및 내결함성 제어기(FTC: Fault Tolerant Controller)가 센서 데이터에 따른 내결함성 제어를 위하여 연료전지 시스템으로 입력하는 제어입력 데이터를 수집하고, 수집된 데이터를 클라우드에 전송하여 저장시킬 수 있다. 이와 같은 DT 데이터의 수집은 클라우드에 저장 및 업데이트를 수행하는 사물 인터넷(IoT)에 의하여 이루어질 수 있다.
- [0026] S220 단계에서, 디지털 트윈 장치는, 클라우드에 저장된 DT 데이터를 이용한 학습을 통해 DT 모델을 생성한다.
- [0027] 즉, 디지털 트윈 장치는 클라우드에 저장된 DT 데이터를 학습 데이터로 하여 연료전지 시스템의 실제 물리적 센서에 대응하는 복수의 가상센서를 설정하고, 이를 통해 각 가상센서의 출력의 추정을 통해 가상센서 데이터를 산출하여 DT 모델을 생성할 수 있다.
- [0028] 예를 들어, 도 4를 참조하면, 디지털 트윈 장치는 클라우드에 저장된 DT 데이터로부터 다층 퍼셉트론 신경망(MLPNN: Multi-Layer Perceptron Neural Network)을 사용하는 가상센서 $k(k=1\sim N)$ 를 설정하고, 센서 k 의 출력을 추정하여 가상센서 데이터를 생성할 수 있다. 다층 퍼셉트론 신경망은 센서 k 를 제외한 모든 센서로부터 측정값을 입력으로 받을 수 있다. 다층 퍼셉트론 신경망은 NBN(Neuron by Neuron) 최적화 알고리즘을 이용하여 학습될 수 있다. NBN 최적화 알고리즘은 널리 사용되는 오류 역전파 학습 알고리즘(error back-propagation training algorithm)과 비교하여 빠르고 효율적으로 학습할 수 있다.
- [0029] S230 단계에서, 디지털 트윈 장치는, 연료전지 시스템으로부터 물리적 센서 데이터를 획득한다.
- [0030] 예를 들어, 도 4에서, 고장($f_1\sim f_N$)이 발생한 물리적 센서 데이터($1\sim N$)가 연료전지 시스템의 물리적 센서의 출력이 될 수 있다.
- [0031] S240 단계에서, 디지털 트윈 장치는, 획득된 물리적 센서 데이터와 산출된 가상센서 데이터의 잔차(Residual)를 계산하여 잔차 데이터를 생성한다.
- [0032] 즉, 디지털 트윈 장치는 생성된 DT 모델의 가상센서와 실제 연료전지 시스템의 물리적 센서를 이용하여 물리적 센서 데이터와 DT 모델 출력 간의 편차를 계산할 수 있다. 그리고, 디지털 트윈 장치는 잔차 계산을 통해 고장 위치를 조사하여 지적할 수 있다.
- [0033] S250 단계에서, 디지털 트윈 장치는, 생성된 잔차 데이터를 분류하여 고장 분류를 수행한다.
- [0034] 즉, 디지털 트윈 장치는 생성된 잔차 데이터를 학습 데이터로 하여 학습을 수행한 후, 잔차 데이터를 분류하여 고장을 감지하고 감지된 고장을 다른 고장들과 분리할 수 있다.
- [0035] 예를 들어, 종래에는 DT 모델에 대한 고장 위치 및 수율을 지적하지 않고, 고장 감지에 중점을 두었었다. 본 발명의 실시예에 따른 디지털 트윈 장치는 잔차가 신중하게 선택된 임계치를 초과할 때 고장을 검출할 수 있다. 도 5를 참조하면, 디지털 트윈 장치는 잔차 데이터를 학습 데이터로 하여 다층 퍼셉트론 신경망을 생성하고, NBN 최적화 알고리즘을 이용하여 생성된 다층 퍼셉트론 신경망을 학습시키고, 학습이 완료되면 다층 퍼셉트론 신경망의 출력 데이터가 미리 설정된 임계치를 초과하는지를 판단하고, 초과하는 경우 해당 센서가 위치하는 연료전지 시스템의 구성을 고장으로 검출할 수 있다.
- [0036] 고장이 성공적으로 검출된 후, 특정 고장을 다른 고장들과 구별하기 위한 고장 분리 절차가 수행될 수 있다.
- [0037] 예를 들어, i 번째 센서가 위치하는 연료전지 시스템의 구성에서 고장이 발생하면, 다층 퍼셉트론 신경망의 i 번째 출력이 임계치보다 클 것이다. 단일 잔차 데이터는 고장을 감지하기에 충분하나, 일반적으로 고장 분리를 위해서는 잔차 데이터 세트(잔차 벡터)가 필요하다. 하나의 잔차 집합(잔차 벡터)을 이용하여 하나의 고장을 다른 고장과 구별할 수 있는 경우, 해당 고장을 해당 잔차 집합(잔차 벡터)을 이용하여 분리 가능하다고 말할 수 있다. 잔차 집합(잔차 벡터)을 이용하여 모든 고장을 분리할 수 있다면, 잔차 집합이 필요한 분리 속성을 갖는다고 말할 수 있다. 가상과 실제의 통합을 통해, 실시간 모니터링, 고장 진단 및 유지보수 의사 결정과 같은 서비스가 제공될 수 있다. 그 결과, 연료전지 시스템의 내구성 및 신뢰성이 향상될 수 있다.
- [0038] S260 단계에서, 디지털 트윈 장치는, 연료전지 시스템의 고장을 검출하고 분리함에 따라 연료전지 시스템에 대하여 내결함성 제어(Fault tolerant control)를 수행한다.
- [0039] 예를 들어, 디지털 트윈 장치는, 도 4에 도시된 바와 같이, 잔차가 임계치 이하로 떨어지도록 연료전지 시스템의 냉각, 수소 공급, 온도 조정, 산소 공급 등을 제어할 수 있다.

- [0040] 연료전지 시스템의 신뢰성을 향상시키기 위하여, 연료전지 시스템이 어플리케이션의 요구사항을 완료하고 임무를 완료하도록 내결함성 제어 전략이 필요하다. 이 작업에서, 가상에서의 고장 정보는 즉시, 제어 정보로 변환된다. 즉, 내결함성 제어는 연료전지 시스템의 고장 영향을 처리하기 위한 것이다.
- [0041] 이와 같은 본 발명의 실시예에 따른 연료전지 시스템의 고장 진단 방법은 고장이나 이상이 있는 경우, 연료전지 시스템의 높은 수준의 정확도 및 신뢰성을 보장할 수 있다. 고장 검출 속도의 응답 시간을 이용한 DT 접근 방식 기반 고장 진단은 상대적으로 빠르고 견고하며 여러 고장을 식별할 수 있다. 또한, 본 발명의 실시예에 따른 연료전지 시스템의 고장 진단 방법은 종래보다 더 활성화된 보다 안정적인 유지보수 전략을 제공할 수 있다.
- [0042] 본 발명의 실시예에 따른 디지털 트윈 장치는, 운영절차에 따라 시스템 파라미터를 업데이트할 수 있는 DT 모델을 구축한다. 디지털 트윈 접근 방식의 장점은 주로 가상과 물리적인 것의 통합에 있다. 물리적 및 가상 연료전지 시스템을 일관성 있게 유지한다는 전제조건에서, 생성된 디지털 트윈은 진단을 위하여, 시뮬레이션 데이터, 과거 데이터 및 실제 데이터와 같이 다양한 소스의 신호를 융합할 수 있다. 물론, 지식과 정보가 더 많이 통합될수록 진단이 더 효과적이고 신뢰받을 수 있다. 예측 유지보수 시나리오에서, 디지털 트윈은 데이터를 생성하고 사용가능한 센서 데이터와 결합하여 예측 유지보수 알고리즘을 구축하고 검증하는데 강력한 역할을 할 수 있다. 또한, 디지털 트윈은 시스템의 물리적 이해를 통합하고, 연료전지 시스템의 동적 동작에 대한 설명을 제공할 수 있다. 그리고, AWS 람다와 같은 클라우드에서, 새로운 DT 접근 방식 기반 고장 진단이 개발될 수 있다. 고장이 발생하는 경우, 알림 및 유지보수 결정을 위하여 AWS Simple Notification Service(SNS)를 통해 이메일 또는 사용자 단말로 알람 메시지가 전송될 수 있다. 그리고, 가상 모델과 물리적 개체 간의 실시간 동기화를 유지하여, 환경과의 상호 작용을 고장 검출 및 진단 절차에 통합하므로, 본 발명의 실시예에 따른 연료전지 시스템의 고장 진단 방법은 데이터 기반 방식보다 더 좋을 수 있다.
- [0043] 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 디지털 트윈 장치의 구성을 개략적으로 예시하여 나타낸 도면이다.
- [0044] 도 6을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 디지털 트윈 장치는 프로세서(10), 메모리(20), 통신부(30) 및 인터페이스부(40)를 포함한다.
- [0045] 프로세서(10)는 메모리(20)에 저장된 처리 명령어를 실행시키는 CPU 또는 반도체 소자일 수 있다.
- [0046] 메모리(20)는 다양한 유형의 휘발성 또는 비휘발성 기억 매체를 포함할 수 있다. 예를 들어, 메모리(20)는 ROM, RAM 등을 포함할 수 있다.
- [0047] 예를 들어, 메모리(20)는 본 발명의 실시예에 따른 연료전지 시스템의 고장 진단 방법을 수행하는 명령어들을 저장할 수 있다.
- [0048] 통신부(30)는 통신망을 통해 다른 장치들과 데이터를 송수신하기 위한 수단이다.
- [0049] 인터페이스부(40)는 네트워크에 접속하기 위한 네트워크 인터페이스 및 사용자 인터페이스를 포함할 수 있다.
- [0050] 한편, 전술된 실시예의 구성 요소는 프로세스적인 관점에서 용이하게 파악될 수 있다. 즉, 각각의 구성 요소는 각각의 프로세스로 파악될 수 있다. 또한 전술된 실시예의 프로세스는 장치의 구성 요소 관점에서 용이하게 파악될 수 있다.
- [0051] 또한 앞서 설명한 기술적 내용들은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예들을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 담당자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 하드웨어 장치는 실시예들의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.
- [0052] 상기한 본 발명의 실시예는 예시의 목적을 위해 개시된 것이고, 본 발명에 대한 통상의 지식을 가지는 당업자라면 본 발명의 사상과 범위 안에서 다양한 수정, 변경, 부가가 가능할 것이며, 이러한 수정, 변경 및 부가는 하

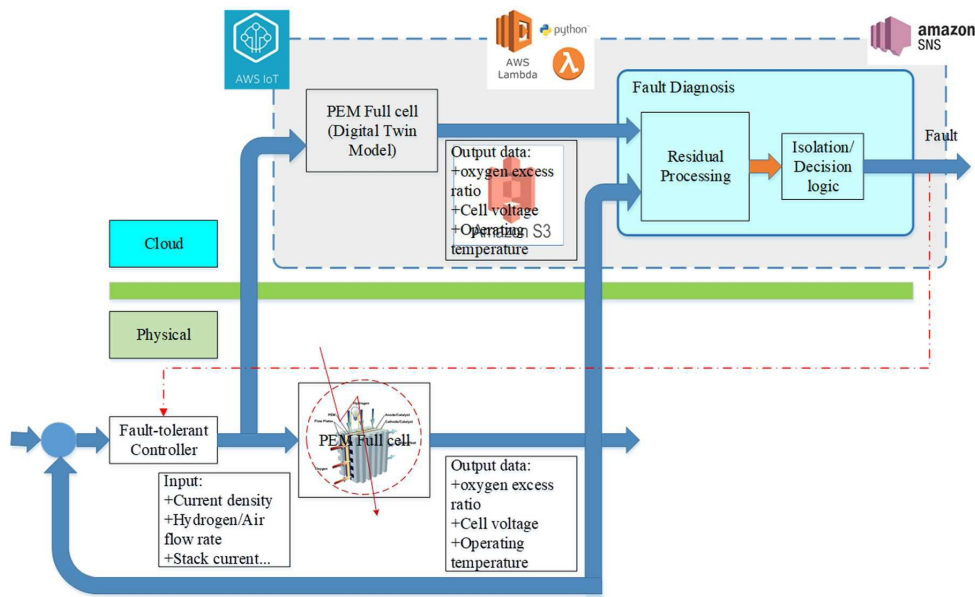
기의 특허청구범위에 속하는 것으로 보아야 할 것이다.

부호의 설명

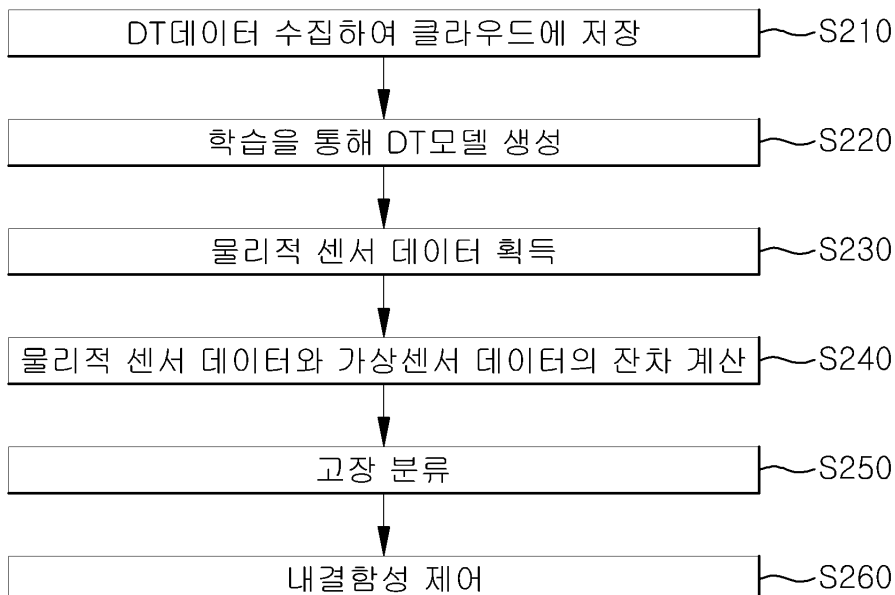
- [0053]
- 10: 프로세서
 - 20: 메모리
 - 30: 통신부
 - 40: 인터페이스부

도면

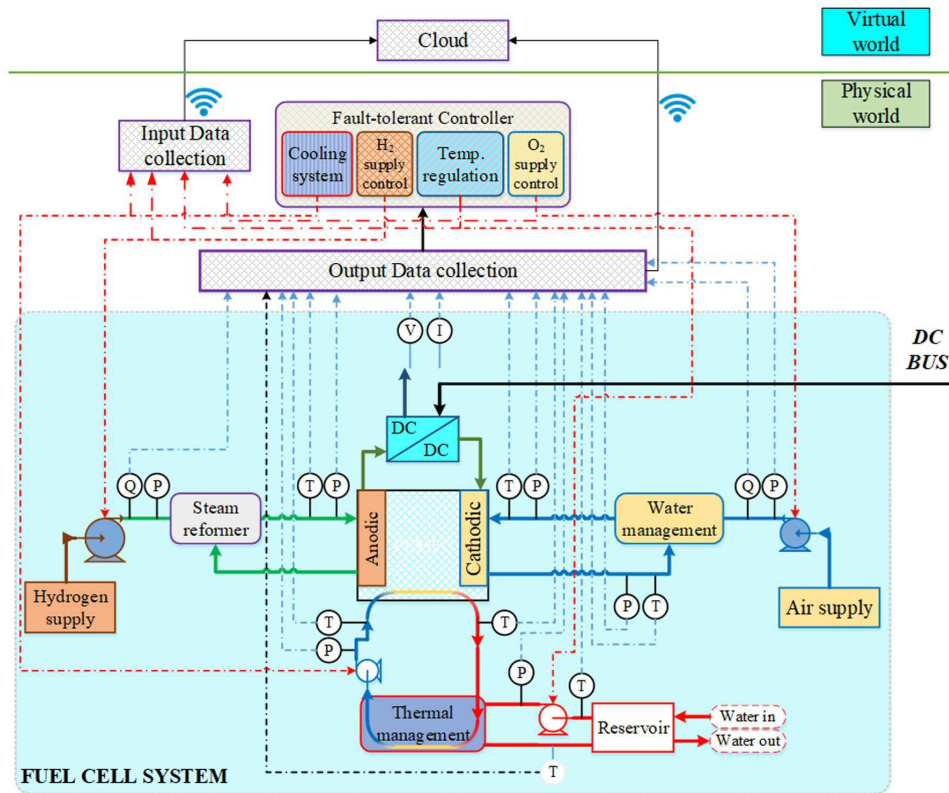
도면1



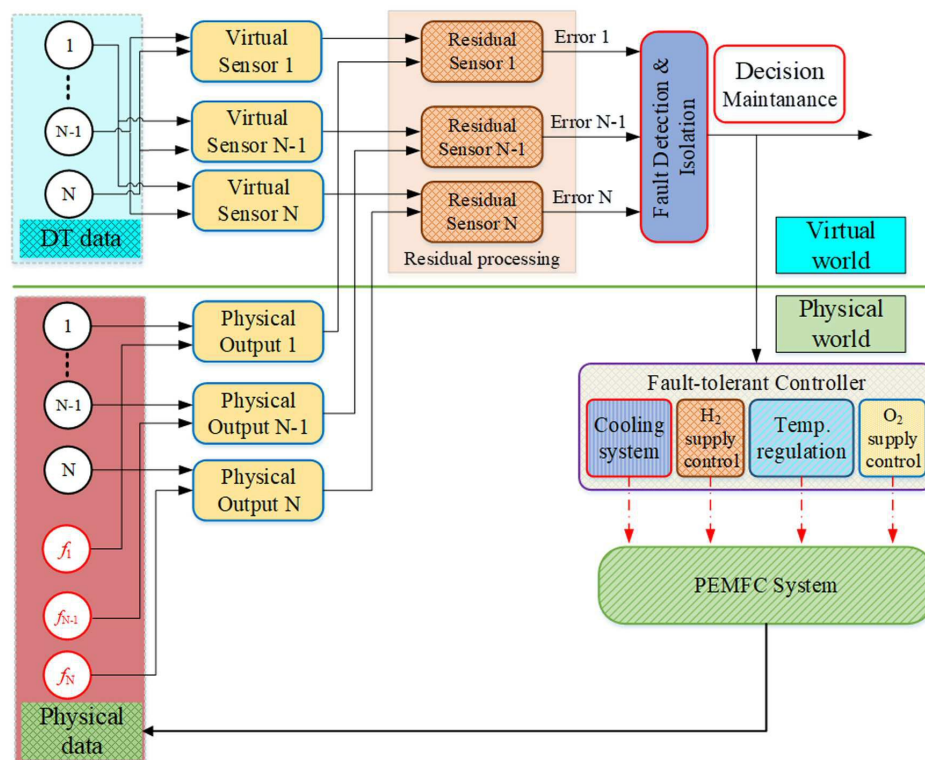
도면2



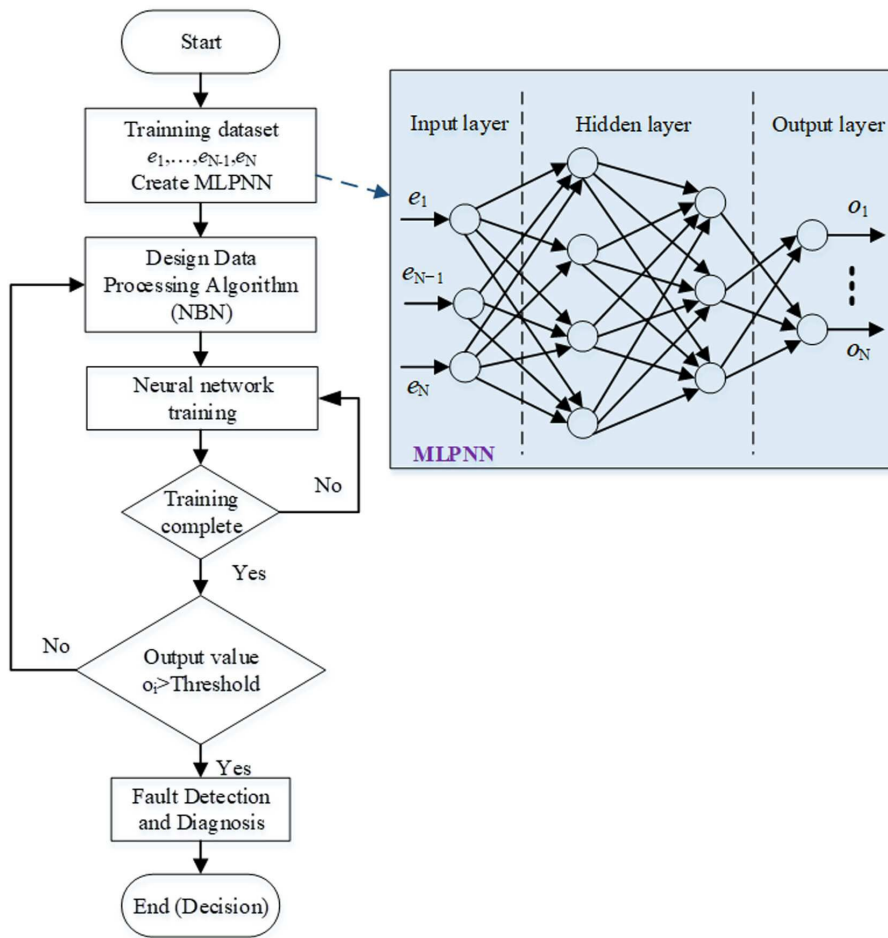
도면3



도면4



도면5



도면6

