



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0023663
(43) 공개일자 2020년03월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 30/00 (2020.01) G06N 3/08 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G06F 30/20 (2020.01)
G06N 3/08 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0094725
(22) 출원일자 2018년08월14일
심사청구일자 2018년08월14일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
(72) 발명자
신도형
서울특별시 강남구 삼성로 150 (대치동, 한보미도맨션) 210동 205호
(74) 대리인
특허법인아이더스

전체 청구항 수 : 총 5 항

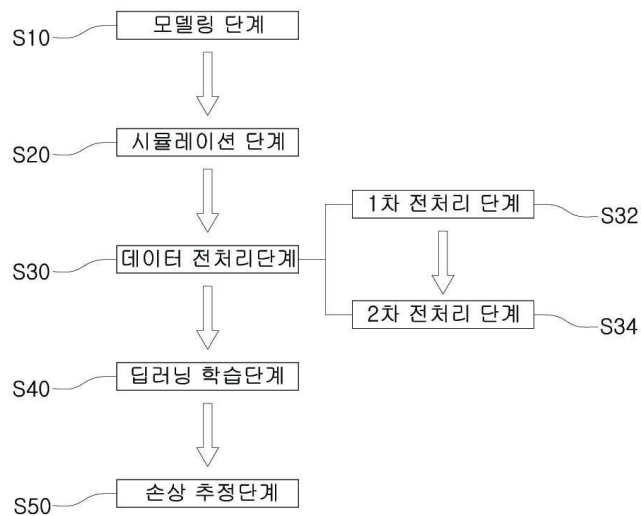
(54) 발명의 명칭 딥러닝을 이용한 해양 부유식 구조물의 계류선 손상 탐지 방법

(57) 요약

본 발명은 딥러닝을 이용한 해양 부유식 구조물의 계류선 손상 탐지 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 딥러닝을 이용하여 파고 및 바람에 해당하는 환경하중과 해양 부유식 구조물 플랫폼의 거동만으로 계류선의 손상을 추정할 수 있도록 함으로써 보다 낮은 비용으로 계류선의 손상을 정확하게 탐지할 수 있도록 하는 딥러닝을 이용한 해양 부유식 구조물의 계류선 손상 탐지 방법에 관한 것이다.

본 발명은 해양 부유식 구조물의 계류선 손상 탐지 방법에 있어서, 컴퓨터에 의해 모델링된 계류선과 플랫폼을 포함하는 해양 부유식 구조물을 이용한 시뮬레이션을 통해 구조물의 거동 데이터를 획득하고, 획득된 데이터들을 이용한 딥러닝 학습을 통해 계류선의 손상을 추정하는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 57767-1

부처명 한국연구재단

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 중견연구

연구과제명 [Ezbaro]부유식 구조물 고정용 케이블 건전도 모니터링을 위한 시스템 모델 및 머신러닝 알고리즘 개발

기 여 율 1/1

주관기관 한국연구재단

연구기간 2018.03.01 ~ 2019.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

해양 부유식 구조물의 계류선 손상 탐지 방법에 있어서,

컴퓨터에 의해 모델링된 계류선과 플랫폼을 포함하는 해양 부유식 구조물을 이용한 시뮬레이션을 통해 구조물의 거동 데이터를 획득하고, 획득된 데이터들을 이용한 딥러닝 학습을 통해 계류선의 손상을 추정하는 것을 특징으로 하는 딥러닝을 이용한 해양 부유식 구조물의 계류선 손상 탐지 방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 계류선 손상 탐지 방법은,

계류선과 플랫폼을 포함하는 해양 부유식 구조물을 모델링하는 모델링 단계와,

모델링된 구조물의 계류선에 손상을 모사하고 환경하중을 적용하여 시뮬레이션을 통해 거동 데이터를 획득하는 시뮬레이션 단계와,

상기 시뮬레이션 단계에서 획득된 거동 데이터들과, 구조물 설치 지역의 환경 하중을 딥러닝에 활용할 수 있도록 전처리하는 데이터 전처리 단계 및

상기 데이터 전처리 단계에서 전처리된 데이터들을 이용하여 딥러닝 학습을 진행하는 딥러닝 학습단계 및

상기 딥러닝 학습단계에서 학습된 딥러닝 모델을 통해 계류선의 손상을 추정하는 손상추정단계를 포함하여 구성된 것을 특징으로 하는 딥러닝을 이용한 해양 부유식 구조물의 계류선 손상 탐지 방법.

청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 시뮬레이션 단계에서 적용되는 환경하중은 바람과 파고인 것을 특징으로 하는 딥러닝을 이용한 해양 부유식 구조물의 계류선 손상 탐지 방법.

청구항 4

제 2항에 있어서,

상기 시뮬레이션 단계에서 획득되는 거동 데이터는 플랫폼의 6자유도 거동 데이터인 것을 특징으로 하는 딥러닝을 이용한 해양 부유식 구조물의 계류선 손상 탐지 방법.

청구항 5

제 2항에 있어서,

상기 데이터 전처리 단계는 시뮬레이션 단계에서 획득된 거동 데이터들과, 구조물 설치 지역의 환경 하중을 파도의 고유주기보다 큰 주기 동안의 평균값과 표준편차값으로 나타내는 1차 전처리 단계와,

상기 1차 전처리 단계에서 획득된 평균값과 표준편차값을 정규화시키는 2차 전처리 단계를 포함하여 구성된 것을 특징으로 하는 딥러닝을 이용한 해양 부유식 구조물의 계류선 손상 탐지 방법.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명은 딥러닝을 이용한 해양 부유식 구조물의 계류선 손상 탐지 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 딥러닝(deep learning)을 이용하여 파고 및 바람에 해당하는 환경하중과 해양 부유식 구조물 플랫폼의 거동만으로 계류선의 손상을 추정할 수 있도록 함으로써 보다 낮은 비용으로 계류선의 손상을 정확하게 탐지할 수 있도록 하는 딥러닝을 이용한 해양 부유식 구조물의 계류선 손상 탐지 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0003] 일반적으로, 부유식 구조물은 자원의 탐사 또는 시추를 목적으로 수면에 떠 있는 구조물로서, 고갈되고 있는 육상의 자원에 비해 비교적 풍성한 해상의 자원을 개발할 목적으로 점차 수요가 증가되고 있는 실정이다.
- [0004] 이러한 부유식 구조물은 계류선에 의해 지지되는데, 계류선의 손상은 부유식 구조물의 구조적인 문제를 야기할 수 있으므로 계류선의 손상을 탐지하여 유지 관리를 하는 것이 무엇보다 중요하다 하겠다.
- [0005] 상기 계류선의 손상은 주로 부식이나 마모에 의해 이루어지는데, 이러한 계류선의 부식 또는 마모에 의한 손상을 평가하기 위한 방법으로 주로 장비를 이용한 비파괴 검사와 각종 센서를 이용한 모니터링 기법이 사용된다.
- [0006] 먼저, 상기 비파괴 검사로는 사진 또는 영상을 통한 촬영이나, 염료 침투방법, 수중 음파 방법 등이 사용되고 있는데, 계류선의 손상을 직접 탐지하므로 센서를 이용한 모니터링 기법보다 정확하다는 장점은 있으나, 해저라는 환경의 특수성으로 인해 조사장비에 따라 오차가 크게 나타나는 단점이 있다.
- [0007] 또한, 상기 모니터링 기법은 계류선에 구비된 경사계, 각속도계, 가속도계 등의 센서를 통해 측정된 데이터들을 이용하여 계류선의 거동을 모니터링 및 추정하고 추정된 거동을 통해 계류선의 손상을 탐지하는 방법으로, 센서에 기반한 방법이므로 실시간으로 손상 추정이 가능하다는 장점이 있으나, 비파괴 검사와 마찬가지로 해저에 설치되는 센서의 오차가 크다는 단점이 있다.
- [0008] 그리고, 상기 모니터링 기법은 계류선의 거동을 모니터링하기 위하여 수중의 계류선에 가속도계 등의 센서를 설치하여야 하므로 설치 비용 및 유지보수 비용이 많이 소요될 뿐만 아니라, 해저라는 환경의 특수성으로 인해 유지 및 관리가 어렵다는 문제점도 있다.
- [0009] 즉, 상기 비파괴 검사나 모니터링 기법은 사용하는 계측기들이 환경의 영향을 많이 받기 때문에 환경요인에 의한 계측오차가 크므로 정확성이 떨어지는 문제점이 있다.
- [0010] 따라서, 환경에 의한 영향을 최소화하여 계류선 손상 탐지의 정확성을 향상시킬 수 있도록 하는 새로운 탐지 방법이 요구되고 있는 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0012] (특허문헌 0001) 1. 대한민국 등록특허공보 제10-1719510호(2017. 03. 24. 공고)
- (특허문헌 0002) 2. 대한민국 등록특허공보 제10-1512596호(2015. 04. 16. 공고)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0013] 본 발명은 상기와 같은 종래기술의 문제점들을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 본 발명의 목적은 딥러닝을 이용하여 파고 및 바람에 해당하는 환경하중과 해양 부유식 구조물 플랫폼의 거동만으로 계류선의 손상을 정확히

추정할 수 있도록 하는 딥러닝을 이용한 해양 부유식 구조물의 계류선 손상 탐지 방법을 제공함에 있다.

[0014] 또한, 본 발명은 부유식 구조물에 기설치된 장비를 이용하거나, 해저의 계류선이 아닌 부유식 구조물의 플랫폼에 장비 또는 측정센서를 설치하므로 종래에 비해 설치 및 유지보수 비용을 대폭 저감시킬 수 있는 딥러닝을 이용한 해양 부유식 구조물의 계류선 손상 탐지 방법을 제공함에 다른 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0016] 상기와 같은 목적들을 달성하기 위한 본 발명은,

[0017] 해양 부유식 구조물의 계류선 손상 탐지 방법에 있어서, 컴퓨터에 의해 모델링된 계류선과 플랫폼을 포함하는 해양 부유식 구조물을 이용한 시뮬레이션을 통해 구조물의 거동 데이터를 획득하고, 획득된 데이터들을 이용한 딥러닝 학습을 통해 계류선의 손상을 추정하는 것을 특징으로 한다.

[0018] 이때, 상기 계류선 손상 탐지 방법은, 계류선과 플랫폼을 포함하는 해양 부유식 구조물을 모델링하는 모델링 단계와, 모델링된 구조물의 계류선에 손상을 모사하고 환경하중을 적용하여 시뮬레이션을 통해 거동 데이터를 획득하는 시뮬레이션 단계와, 상기 시뮬레이션 단계에서 획득된 거동 데이터들과, 구조물 설치 지역의 환경 하중을 딥러닝에 활용할 수 있도록 전처리하는 데이터 전처리 단계 및 상기 데이터 전처리 단계에서 전처리된 데이터들을 이용하여 딥러닝 학습을 진행하는 딥러닝 학습단계 및 상기 딥러닝 학습단계에서 학습된 딥러닝 모델을 통해 계류선의 손상을 추정하는 손상추정단계를 포함하여 구성된 것을 특징으로 한다.

[0019] 여기서, 상기 시뮬레이션 단계에서 적용되는 환경하중은 바람과 파고인 것을 특징으로 한다.

[0020] 또한, 상기 시뮬레이션 단계에서 획득되는 거동 데이터는 플랫폼의 6자유도 거동 데이터인 것을 특징으로 한다.

[0021] 그리고, 상기 데이터 전처리 단계는 시뮬레이션 단계에서 획득된 거동 데이터들과, 구조물 설치 지역의 환경 하중을 파도의 고유주기보다 큰 주기 동안의 평균값과 표준편차값으로 나타내는 1차 전처리 단계와, 상기 1차 전처리 단계에서 획득된 평균값과 표준편차값을 정규화시키는 2차 전처리 단계를 포함하여 구성된 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0023] 본 발명에 따르면, 딥러닝을 이용하여 파고 및 바람에 해당하는 환경하중과 해양 부유식 구조물 플랫폼의 거동만으로 계류선의 손상을 정확히 추정할 수 있도록 하는 뛰어난 효과를 갖는다.

[0024] 또한, 본 발명에 따르면 부유식 구조물에 기설치된 장비를 이용하거나, 해저의 계류선이 아닌 부유식 구조물의 플랫폼에 장비 또는 측정센서를 설치하므로 종래에 비해 설치 및 유지보수 비용을 대폭 저감시킬 수 있을 뿐만 아니라, 계류선에서 얻어진 데이터가 아닌 플랫폼에서 획득된 데이터를 이용하여 계류선의 손상을 추정하므로 종래 보다 오차가 작은 데이터를 이용하여 추정의 정확도를 향상시킬 수 있는 효과를 추가로 갖는다.

도면의 간단한 설명

[0026] 도 1은 본 발명에 따른 딥러닝을 이용한 해양 부유식 구조물의 계류선 손상 탐지 방법을 순차적으로 나타낸 흐름도.

도 2의 (a) ~ (c)는 모델링된 해양 부유식 구조물을 개략적으로 나타낸 도면.

도 3은 딥러닝에 사용되는 데이터의 1차 전처리 모습을 나타낸 그래프.

도 4는 본 발명에 따른 딥러닝 학습단계에서의 딥러닝 아키텍처(architecture)를 나타낸 그래프.

도 5의 (a), (b)는 계류선의 전역적인 손상을 모사한 경우의 딥러닝 학습결과를 나타낸 그래프.

도 6은 계류선의 국부적인 손상을 모사한 경우의 딥러닝 학습결과를 나타낸 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0027] 이하, 첨부된 도면을 참고로 하여 본 발명에 따른 딥러닝을 이용한 해양 부유식 구조물의 계류선 손상 탐지 방법의 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다.
- [0028] 도 1은 본 발명에 따른 딥러닝을 이용한 해양 부유식 구조물의 계류선 손상 탐지 방법을 순차적으로 나타낸 흐름도이고, 도 2의 (a) ~ (c)는 모델링된 해양 부유식 구조물을 개략적으로 나타낸 도면이며, 도 3은 딥러닝에 사용되는 데이터의 1차 전처리 모습을 나타낸 그래프이고, 도 4는 본 발명에 따른 딥러닝 학습단계에서의 딥러닝 아키텍처(architecture)를 나타낸 그래프이며, 도 5의 (a),(b)는 계류선의 전역적인 손상을 모사한 경우의 딥러닝 학습결과를 나타낸 그래프이고, 도 6은 계류선의 국부적인 손상을 모사한 경우의 딥러닝 학습결과를 나타낸 그래프이다.
- [0030] 본 발명은 딥러닝을 이용하여 파고 및 바람에 해당하는 환경하중과 해양 부유식 구조물 플랫폼(12)의 거동만으로 계류선의 손상을 추정할 수 있도록 함으로써 보다 낮은 비용으로 계류선의 손상을 정확하게 탐지할 수 있도록 하는 딥러닝을 이용한 해양 부유식 구조물의 계류선 손상 탐지 방법에 관한 것으로, 본 발명에서 사용되는 딥러닝(deep learning)은 컴퓨터가 사람처럼 스스로 보고 배운 지식을 계속 쌓아가면서 공부하는 인공지능 학습 방법을 뜻하는 것으로, 인공지능망 방법론 중 하나로써 높은 예측력을 필요로 하는 분야에서 주로 사용된다.
- [0031] 즉, 본 발명은 이러한 딥러닝을 기반으로 하여 환경 하중 즉, 플랫폼(12)이 설치되는 지역의 파고 및 바람에 의한 영향과 플랫폼(12)의 움직임, 즉 6자유도의 데이터를 통해 플랫폼(12)을 지지하는 계류선(14)의 손상을 추정할 수 있도록 하는 방법에 관한 것이다.
- [0032] 상기와 같은 본 발명은 도 1에 나타낸 바와 같이, 크게 모델링 단계(S10), 시뮬레이션 단계(S20), 데이터 전처리 단계(S30), 딥러닝 학습단계(S40) 및 손상추정단계(S50)를 포함하여 이루어진다.
- [0033] 보다 상세히 설명하면, 상기 모델링 단계(S10)는 컴퓨터를 이용하여 계류선(14)과 플랫폼(12)을 포함하는 해양 부유식 구조물(10)을 모델링하는 단계에 관한 것으로, 본 발명에서는 해저면에서 플랫폼(12)까지 수직으로 다수 개의 계류선(14)이 연결된 수직형 계류선(14)이 설치된 해양 부유식 구조물(10)을 모델링하였다.
- [0034] 다음, 상기 시뮬레이션 단계(S20)는 모델링된 해양 부유식 구조물(10)의 계류선(14)에 손상을 모사하여 시뮬레이션을 통해 구조물(10)의 거동 데이터를 획득하는 단계에 관한 것으로, 본 발명에서는 가상환경과 실제 환경을 동일하게 만드는 가상물리시스템(CPS; Cyber Physical System)의 개념을 차용하여 실제와 가장 유사한 환경을 모사할 수 있도록 하였다.
- [0035] 즉, 후술할 딥러닝 학습단계(S40)에서의 학습을 위해서는 실제 구조물(10)에서의 데이터가 필요하지만, 실제 해양 부유식 구조물(10)의 계류선(14)에 인위적인 손상을 가하는 것은 부유식 구조물(10)의 안전성을 저해하는 것이어서 바람직하지 않을 뿐만 아니라 현실적으로 불가능하므로 모델링 단계(S10)에서 모델링된 부유식 구조물(10)에 가상물리시스템의 개념을 차용하여 실제와 동일한 환경하중, 즉 바람 및 파고 등을 적용하여 시뮬레이션 함으로써 실제와 가장 유사한 환경을 모사할 수 있도록 구성한 것이다.
- [0036] 이때, 보다 정확한 플랫폼(12)의 거동 데이터를 획득함과 동시에 딥러닝 학습을 통해 최대한 많은 손상에 대해 추정할 수 있도록 하기 위해서 도 2의 (a) ~ (c)에 나타낸 바와 같이, 계류선(14)의 다양한 위치에 다양한 크기의 손상을 모사하여 시뮬레이션하는 것이 바람직하다.
- [0037] 보다 상세히 설명하면, 상기 시뮬레이션 단계(S20)에서는 모델링 단계(S10)에서 모델링된 해양 부유식 구조물(10)이 수심이 약 914.36m(3,000ft)인 지점에 설치된 것으로 가정하였고, 부유식 구조물(10)에 작용하는 다양한 환경하중 중 구조물의 거동에 가장 큰 영향을 미치는 것은 파고 및 바람이므로 두 가지 환경하중을 집중적으로 고려하여 부유식 구조물(10)의 거동해석을 수행한다.
- [0038] 또한, 파고 및 바람은 시간에 따라 랜덤하게 변화되므로 해석상에서 이를 구현하기 위하여 파고와 바람의 스펙트럼(spectrum)을 이용하여 시간에 따른 파고와 바람의 이력을 생성하였는데, 파고의 경우 JONSWAP(Joint North Sea Wave Project) 스펙트럼을 사용하였고, 바람의 경우 API스펙트럼(API2INT-MET, 2007)을 사용하였다.
- [0039] 또한, 상기 환경하중 즉, 파고와 바람의 스펙트럼을 이용한 시뮬레이션 및 부유식 구조물(10)의 거동 해석 프로그램은 CHARM3D를 사용하였다.
- [0040] 다양한 조건에서의 플랫폼(12) 거동을 구현하기 위해서 아래의 표 1에 나타낸 바와 같이 환경하중 즉, 파고와 바람을 조합하여 총 25개의 환경하중에 대해서 시뮬레이션을 수행하였다.

표 1

구분	1	2	3	4	5
유의파고 (ft(m))	6.56 (2.00)	13.12 (4.00)	19.68 (6.00)	26.24 (8.00)	32.80 (10.00)
평균풍속 (ft/s(m/s))	21.60 (6.6)	43.20 (13.2)	64.80 (19.8)	86.40 (26.3)	108.27 (33.0)

[0041]

[0042]

이때, 상기와 같은 환경하중 조건에서의 시뮬레이션을 통해 획득할 수 있는 거동 데이터로는 플랫폼(12)의 6자유도(수평, 수직, 깊이, 피치, 요, 롤) 거동 데이터와, 계류선(14)의 거동 데이터 즉, 계류선(14)에 설정된 다수 개의 절점(node)에서의 가속도, 각속도, 장력 등의 데이터 등이 있고, 이와 같은 모든 거동 데이터들을 이용하여 딥러닝 학습을 진행할 경우 계류선(14) 손상의 예측 정확도 즉, 테스트 데이터 중 정확하게 손상을 추정한 데이터의 개수를 확률값으로 환산한 정확도가 100%로 수렴하는 것을 확인할 수 있었다.

[0043]

하지만, 계류선(14)의 거동 데이터를 이용한다는 것은 계류선(14)에 설정된 모든 절점에 계측기를 설치하여야 한다는 의미와 동일하므로 실제로 계류선(14)의 거동 데이터를 획득하는 것은 현실적으로 불가능하다.

[0044]

따라서, 본 발명에서는 비교적 획득이 용이한 플랫폼(12)의 6자유도 거동 데이터만으로 딥러닝 학습을 진행하여 현실적으로 적용 가능하도록 하였고, 후술하겠지만 플랫폼(12)의 거동 데이터만으로도 계류선(14) 손상의 예측 정확도가 96.9%에 이르는 것을 확인할 수 있었다.

[0045]

다음, 상기 데이터 전처리 단계(S30)는 전술한 시뮬레이션 단계(S20)에서 획득된 거동 데이터 즉, 플랫폼(12)의 6자유도 거동 데이터들과, 시뮬레이션 과정에서 사용된 구조물(10) 설치 지역의 환경 하중 데이터들을 딥러닝 학습에 사용될 수 있도록 전처리 하는 단계에 관한 것으로, 상기 데이터들의 시계열적 특성을 반영하여 딥러닝 학습의 오차를 줄일 수 있도록 하는 역할을 하게 된다.

[0046]

즉, 시뮬레이션을 통해 얻어지는 플랫폼(12)의 거동 데이터들은 시계열(time series) 데이터로 구성되고, 플랫폼(12)의 거동이 불안정하여 시간대별로 데이터의 변화가 심하게 나타나 딥러닝 학습이 제대로 이루어질 수 없게 되므로, 데이터의 변화에 의한 영향을 최소화시킬 수 있도록 하기 위하여 딥러닝 학습에 사용되는 데이터들을 전처리하는 것이다.

[0047]

보다 상세히 설명하면, 상기 데이터 전처리 단계(S30)는 1차 전처리 단계(S32)와 2차 전처리 단계(S34)를 포함하여 이루어지는데, 먼저 상기 1차 전처리 단계(S32)는 시뮬레이션 단계(S20)에서 획득되는 플랫폼(12)의 6자유도 거동 데이터와 시뮬레이션 단계(S20)에서 가해지는 환경 하중 즉, 바람 및 파고를 특정 주기로 구분한 후, 구분된 각 주기동안의 데이터들을 평균값과 표준편차값으로 나타내는 단계에 관한 것이다.

[0048]

이때, 상기 플랫폼(12)의 거동 특성을 확인하기 위해서는 1차 전처리 단계(S32)에서 정해지는 주기가 플랫폼(12)의 좌,우 움직임(sway)의 주기 보다 긴 시간으로 정해져야 하는데, 플랫폼(12)의 좌,우 움직임의 지배적인 요소는 파도이므로 파도 움직임의 고유주기인 약 15초 보다 큰 주기를 이용할 경우 플랫폼(12) 거동의 특성을 얻어낼 수 있게 된다.

[0049]

상기와 같이 주기가 결정되면, 각 데이터, 즉 플랫폼(12)의 6자유도 거동 데이터와 바람 및 파고의 데이터 별로 해당 주기 동안의 평균값 및 표준편차값을 구하여 데이터의 변화량을 줄임으로써 후술할 딥러닝 학습단계(S40)에서의 데이터 변화에 따른 영향을 줄일 수 있게 된다.

[0050]

도 3은 상기와 같은 1차 전처리 단계(S32)의 일예를 나타낸 것으로, 평균값과 표준편차값을 얻어내기 위한 주기를 250초로 설정한 경우를 나타낸 것이다.

[0051]

처음 250초 동안을 T_1 시점이라고 할 경우, T_1 시점에서의 평균값과 표준편차값을 각각 $\overline{x_1}$, s_1 으로 표기한 것이다.

[0052]

도 3에 나타낸 바와 같이, 데이터들의 1차 전처리 과정이 완료된 후에도 각 시점에서의 데이터값들의 절대값 차이가 크게 나타나고, 이러한 현상은 후술할 딥러닝 학습에서 방해요소, 즉 정확성을 떨어뜨리게 되는 요소로 작용하게 된다.

[0053]

따라서, 상기 1차 전처리 단계(S32)에서 전처리된 데이터들을 다시 한 번 전처리하는 2차 전처리 단계(S34)가

수행되는데, 상기 2차 전처리 단계(S34)는 1차 전처리 단계(S32)에서 획득된 평균값과 표준편차값을 정규화(normalization)시키는 단계이다.

[0054] 상기 2차 전처리 단계(S34)에서 수행되는 정규화는 아래의 수식 (1) 및 수식 (2)에 의해 수행되는데,

$$Z_{\bar{X}_n} = \frac{\bar{X}_n - \mu_{\bar{X}}}{\sigma_{\bar{X}}} \quad \dots (1)$$

$$Z_{s_n} = \frac{s_n - \mu_s}{\sigma_s} \quad \dots (2)$$

[0057] 여기서, Z는 각 데이터의 정규화된 데이터를 의미하고, $\bar{X}$ 와 s는 각각 1차 전처리된 평균값과 표준편차값을 의미하며, μ 는 1차 전처리를 통해 얻어진 개별 데이터 세트($\bar{X}$, s)들의 평균을 의미하고, σ 는 1차 전처리를 통해 얻어진 개별 데이터 세트($\bar{X}$, s)들의 표준편차를 의미한다.

[0058] 상기와 같이 시뮬레이션 단계(S20)를 통해 얻어진 데이터들에 대한 1차 및 2차 전처리 단계(S32, S34)가 완료되면, 일정 주기동안의 데이터의 절대값 변화가 현저히 줄어들게 되어 후술할 딥러닝 학습단계(S40)에서 데이터의 변화에 따른 영향이 최소화되어 정확도를 향상시킬 수 있게 된다.

[0059] 다음, 상기 딥러닝 학습단계(S40)는 데이터 전처리 단계(S30)에서 전처리된 데이터들을 컴퓨터에 입력하여 딥러닝 학습을 진행하는 단계에 관한 것으로, 본 발명에서 딥러닝 학습에 사용된 총 데이터의 개수는 13,500개이며, 상기 데이터들을 8:2의 비율로 트레이닝 데이터(10,800개)와 테스트 데이터(2,700개)로 구성하였다.

[0060] 각각의 데이터들은 16개의 변수와 손상된 계류선(14)의 라벨로 이루어지는데, 사용된 변수들은 파고, 바람의 크기, 플랫폼(12)의 6자유도의 각 평균 및 표준편차 및 2차 전처리된 정규화된 데이터를 포함하고, 계류선(14)의 손상은 전체 계류선(14)의 길이 중 약 300m의 범위에서 손상이 발생한 전역적인 손상과, 약 0.6m의 범위에서 손상이 발생한 국부적인 손상으로 구분될 수 있다.

[0061] 그리고, 딥러닝 학습모델의 정확도 체크 및 트레이닝 데이터에 대한 과적합을 방지하기 위해 트레이닝 데이터의 10%, 즉 1,080개를 밸리데이션(validation) 데이터로 구성하였고, 이에 따라 실제 딥러닝 학습에 이용된 트레이닝 데이터의 개수는 9,720개이다.

[0062] 도 4는 상기와 같이 진행한 딥러닝 학습단계(S40)에서의 딥러닝 아키텍처(architecture)를 나타낸 것으로, 총 6개의 층(Layer)으로 구성된다.

[0063] 이와 같은 딥러닝 학습에 이용한 하이퍼파라미터(hyperparameter)로 배치(batch)의 크기는 200이고, 활성화 함수로는 ReLU(Rectified Linear Unit) 함수를 사용하였으며, 분류자(Classfier)로는 Softmax 함수를 사용하였다.

[0064] 다음, 상기 손상추정단계(S50)는 딥러닝 학습단계(S40)에서 학습된 딥러닝 모델을 검증하고 검증된 딥러닝 모델을 통해 계류선(14)의 손상을 추정하는 단계에 관한 것으로, 먼저 학습된 딥러닝 모델의 검증을 위해 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램인 CHARM3D를 이용하여 계류선(14)의 전역적인 손상과 국부적인 손상을 각각 모사하여 검증하였다.

[0065] 도 5는 계류선(14)에 전역적인 손상을 모사하여 학습된 딥러닝 모델을 검증한 결과를 나타낸 것으로, 딥러닝 학습은 밸리데이션 정확도가 가장 높을 때 중지하도록 하였다.

[0066] 먼저, 전체길이 1,000m의 계류선(14)에서 상부, 중앙, 하부의 위치 중 한 곳을 랜덤으로 선정하여 해당 위치의 300m 길이에 50%의 손상(300m 길이 중 50%의 단면 손상)을 주어 모사한 경우 도 5의 (a)에 나타낸 바와 같이, 약 400,000번의 이터레이션(iteration) 즉, 약 8,000 이포크(epoch)에서 수렴하는 것을 확인할 수 있었다.

[0067] 또한, 마찬가지로 전체길이 1,000m의 계류선(14)에서 상부, 중앙, 하부의 위치 중 한 곳을 랜덤으로 선정하여 해당 위치의 300m 길이에 20%의 손상(300m 길이 중 20%의 단면 손상)을 주어 모사한 경우 도 5의 (b)에 나타낸 바와 같이, 약 1,000,000번의 이터레이션(iteration) 즉, 약 20,000 이포크(epoch)에서 수렴하는 것을 확인할 수 있었다.

- [0068] 상기와 같은 검증 결과, 파고, 바람 및 플랫폼(12)의 6자유도 거동 데이터에 대한 계측오차가 없다고 가정할 경우 딥러닝 학습이 완료된 뒤 계류선(14)의 전역 손상에 대한 딥러닝 모델의 정확도는 손상 정도 50%에 대해 98.04%로 나타났고, 손상 정도 20%에 대해 99.22%로 나타나 상당히 높은 정확도를 보이는 것을 확인할 수 있다.
- [0069] 한편, 도 6은 계류선(14)에 국부적인 손상이 발생된 경우를 모사하여 학습된 딥러닝 모델을 검증한 결과를 나타낸 것으로, 1,000m의 계류선(14)에서 임의의 한 곳을 랜덤으로 선정하여 해당 위치의 0.6m 길이에 20%의 손상(0.6m 길이 중 20%의 단면 손상)을 주어 모사하였다.
- [0070] 전역적인 손상의 경우와 마찬가지로 딥러닝 학습은 밸리데이션 정확도가 가장 높을 때 중지하도록 하였으며, 그 결과 약 2,000,000번의 이터레이션(iteration) 즉, 약 40,000 이포크(epoch)에서 수렴하는 것을 확인할 수 있었다.
- [0071] 마찬가지로, 파고, 바람 및 플랫폼(12)의 6자유도 거동 데이터에 대한 계측오차가 없다고 가정할 경우 딥러닝 학습이 완료된 뒤 계류선(14)의 국부 손상에 대한 딥러닝 모델의 정확도는 손상 정도 20%에 대해 96.93%로 나타났다.
- [0072] 상기와 같은 검증 결과 본 발명에 의해 학습된 딥러닝 모델에 의한 계류선(14) 손상의 예측 정확도는 계류선(14) 전역 손상의 경우 98% 이상이고, 계류선(14) 국부 손상의 경우 96% 이상이므로, 환경하중, 즉 바람 및 파고와, 플랫폼(12)의 거동 데이터만으로 학습된 딥러닝 모델을 통해 계류선(14)의 손상을 정확히 추정할 수 있음을 알 수 있다.
- [0073] 한편, 전술한 계측 오차, 즉 파고, 바람 및 플랫폼(12)의 6자유도 거동 데이터에 대한 계측 오차가 10%인 경우 본 발명에 의해 학습된 딥러닝 모델에 의한 예측 정확도가 계류선(14) 전역 손상과 국부 손상에 대해 각각 83.93%, 76.74%로 계측 오차가 없다고 가정한 경우 보다 낮게 나타났으나, 일반적인 부유식 구조물(10)의 계측 오차가 5% 이내인 점을 감안할 경우, 계측 오차를 고려하더라도 본 발명에 의해 학습된 딥러닝 모델에 의한 계류선(14)의 손상 예측 정확도는 신뢰할 수 있는 것을 알 수 있다.
- [0074] 따라서, 전술한 바와 같은 본 발명에 따른 딥러닝을 이용한 해양 부유식 구조물의 계류선 손상 탐지 방법에 의하면, 딥러닝을 이용하여 파고 및 바람에 해당하는 환경하중과 해양 부유식 구조물 플랫폼(12)의 거동만으로 계류선(14)의 손상을 정확히 추정할 수 있도록 할 뿐만 아니라, 부유식 구조물(10)에 기설치된 장비를 이용하거나, 해저의 계류선(14)이 아닌 부유식 구조물(10)의 플랫폼(12)에 장비 또는 측정센서를 설치하므로 종래에 비해 설치 및 유지보수 비용을 대폭 저감시킬 수 있고, 계류선(14)에서 얻어진 데이터가 아닌 플랫폼(12)에서 획득된 데이터를 이용하여 계류선(14)의 손상을 추정하므로 종래 보다 오차가 작은 데이터를 이용하여 추정의 정확도를 향상시킬 수 있는 등의 다양한 장점을 갖는 것이다.
- [0076] 전술한 실시예들은 본 발명의 가장 바람직한 예에 대하여 설명한 것이지만, 상기 실시예에만 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 다양한 변형이 가능하다는 것은 당업자에게 있어서 명백한 것이다.

산업상 이용가능성

- [0078] 본 발명은 딥러닝을 이용한 해양 부유식 구조물의 계류선 손상 탐지 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 딥러닝을 이용하여 파고 및 바람에 해당하는 환경하중과 해양 부유식 구조물 플랫폼의 거동만으로 계류선의 손상을 추정할 수 있도록 함으로써 보다 낮은 비용으로 계류선의 손상을 정확하게 탐지할 수 있도록 하는 딥러닝을 이용한 해양 부유식 구조물의 계류선 손상 탐지 방법에 관한 것이다.

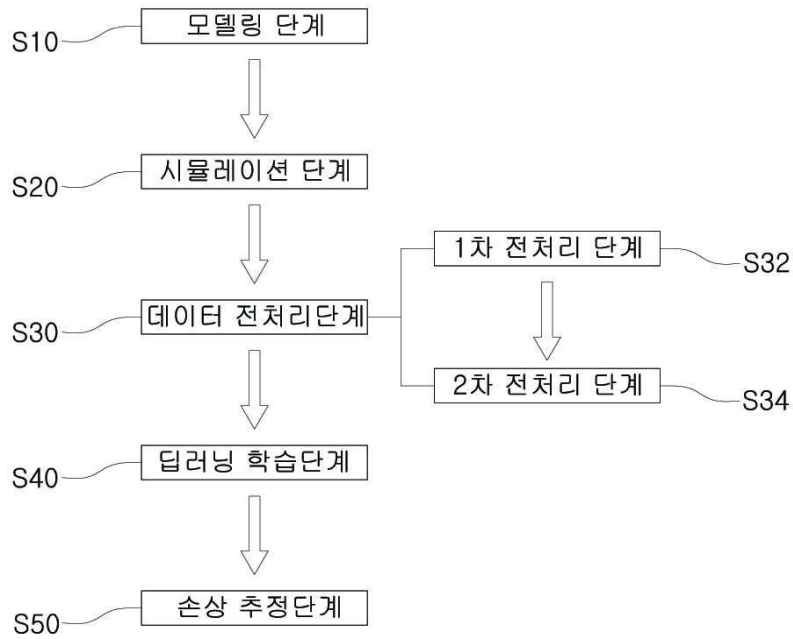
부호의 설명

- [0080] 10 : (해양) 부유식 구조물 12 : 플랫폼
14 : 계류선 S10 : 모델링 단계

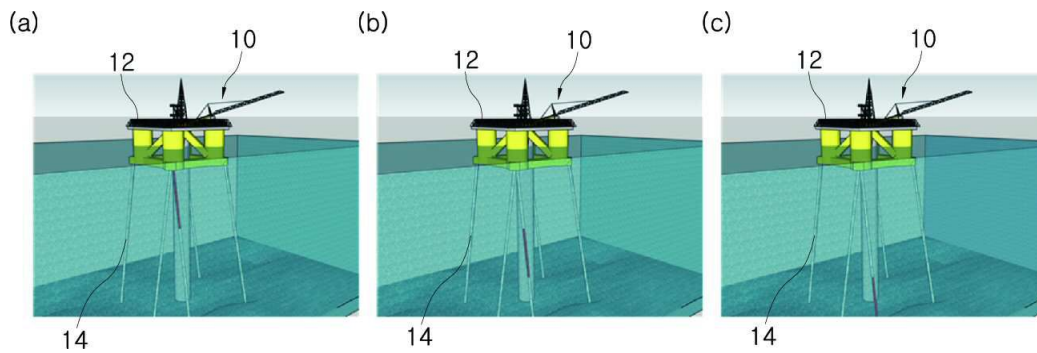
S20 : 시뮬레이션 단계 S30 : 데이터 전처리 단계
 S32 : 1차 전처리 단계 S34 : 2차 전처리 단계
 S40 : 딥러닝 학습단계 S50 : 손상 추정단계

도면

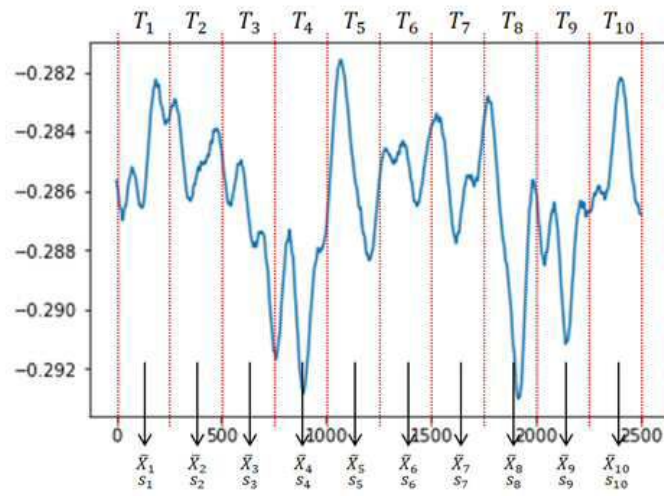
도면1



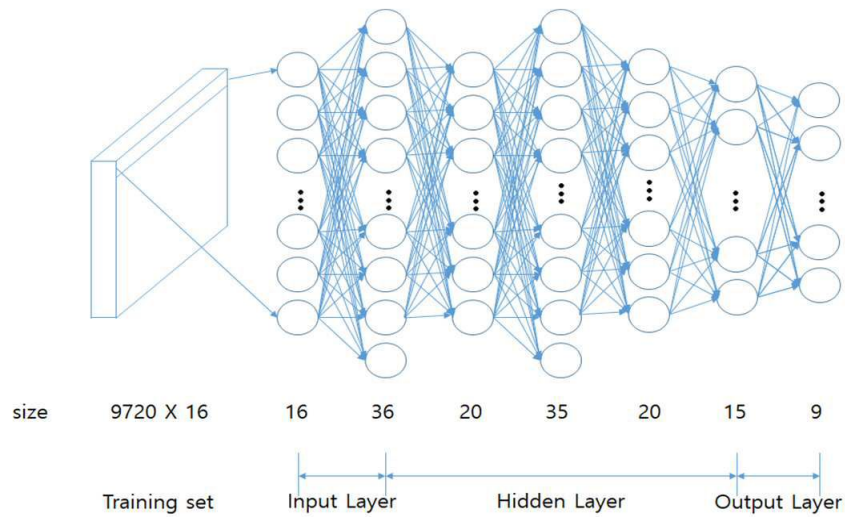
도면2



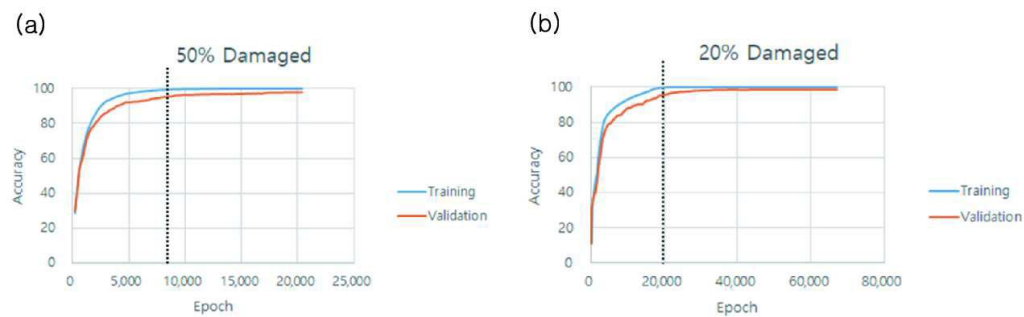
도면3



도면4



도면5



도면6

