



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년10월06일
(11) 등록번호 10-2309596
(24) 등록일자 2021년09월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F03D 7/04 (2006.01) G06N 3/08 (2006.01)
(52) CPC특허분류
F03D 7/046 (2013.01)
F03D 7/045 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0186619
(22) 출원일자 2020년12월29일
심사청구일자 2020년12월29일
(56) 선행기술조사문헌
JP2013222423 A*
KR102143757 B1*
JP2000087841 A
JP2008064081 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
포항공과대학교 산학협력단
경상북도 포항시 남구 청암로 77 (지곡동)
(72) 발명자
유동현
경상북도 포항시 남구 지곡로 155, 9동 1601호 (지곡동, 교수아파트)
김태완
서울특별시 송파구 토성로 37, 302동 301호 (풍납동, 현대리버빌아파트)
(74) 대리인
인비전 특허법인
(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 10 항

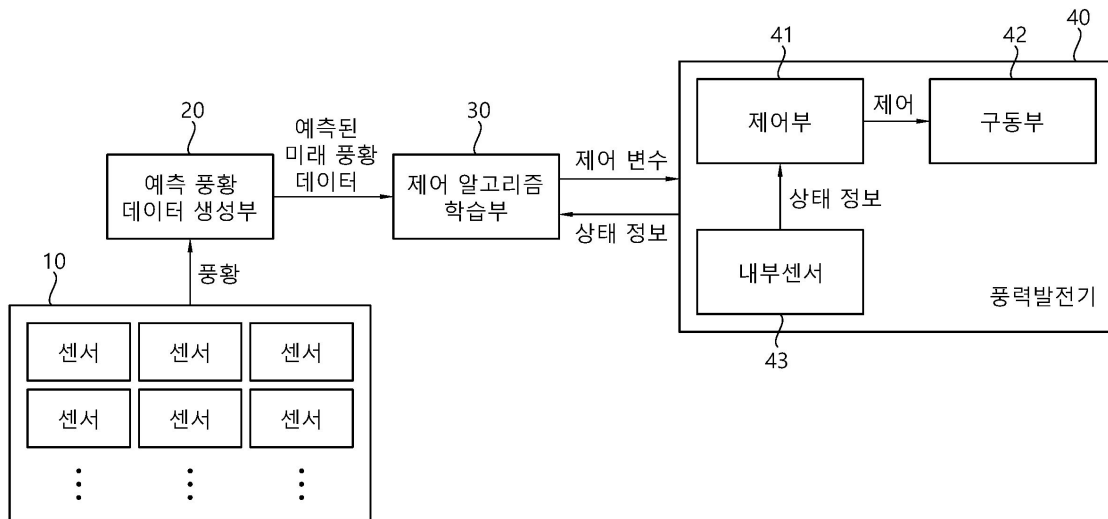
심사관 : 박종오

(54) 발명의 명칭 미래 풍황 예측을 통한 풍력발전 시스템 및 풍력발전기 제어방법

(57) 요약

본 발명은, 풍력발전기, 풍력발전기를 기준위치로 하여 소정 거리 이격되어 구비되며, 시계열 풍황 데이터를 측정하는 복수의 풍황 측정 센서, 풍황 측정 센서로부터 측정된 시계열 풍황 데이터로부터 기준위치에서 미래의 예측 풍황 데이터를 생성하는 예측 풍황 데이터 생성부, 예측 풍황 데이터에 근거하여 풍력발전기의 발전효율을 증 (뒷면에 계속)

대표도



가시킬 수 있도록 풍력발전기에 적용되는 제어 알고리즘을 학습시켜 제어 변수를 생성하는 제어 알고리즘 학습부, 제어 변수에 따라 풍력발전기를 제어하는 제어부를 포함하는 미래 풍황 예측을 통한 풍력발전 시스템 및 풍력발전기 제어방법에 관한 것이다.

본 발명에 따라 풍력발전기와 인공지능 모델의 정보 교환을 통해 인공지능 모델이 풍력발전기의 발전량, 발전 효율, 제어 변수의 상태 등을 입력 정보로 받아들이기 때문에 전력 계수가 주어지지 않은 풍력발전기에 대해서도 인공지능 모델을 활용한 제어를 일반화하여 적용할 수 있다.

(52) CPC특허분류

G06N 3/08 (2013.01)
F05B 2270/30 (2013.01)
F05B 2270/404 (2013.01)
F05B 2270/709 (2013.01)
Y02E 10/70 (2013.01)

송정환

경상남도 양산시 양주로 114, 105동 1402호 (중부동, 현대아파트)

(72) 발명자

김세진

경상북도 포항시 남구 효자동길10번길 35, 4층 306호 (효자동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415168251
과제번호	20193020020160
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국에너지기술평가원
연구사업명	신재생에너지핵심기술개발
연구과제명	풍력단지 효율 향상을 위한 인공지능 기반 풍력 예측 및 터빈 제어 기술 개발
기여율	1/1
과제수행기관명	포항공과대학교산학협력단
연구기간	2020.04.01 ~ 2020.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

풍력발전기;

상기 풍력발전기를 기준위치로 하여 소정 거리 이격되어 구비되며, 시계열 풍황 데이터를 측정하는 복수의 풍황 측정 센서;

상기 풍황 측정 센서로부터 측정된 시계열 풍황 데이터로부터 기준위치에서 미래의 예측 풍황 데이터를 생성하는 예측 풍황 데이터 생성부;

상기 예측 풍황 데이터에 근거하여 상기 풍력발전기의 발전효율을 증가시킬 수 있도록 상기 풍력발전기에 적용되는 제어 알고리즘을 학습시켜 제어 변수를 생성하는 제어 알고리즘 학습부; 및

상기 제어 변수에 따라 상기 풍력발전기를 제어하는 제어부를 포함하며,

상기 제어 변수는,

상기 풍력발전기의 블레이드의 피치(pitch) 및 회전속도, 타워의 요(yaw) 각도 및 틸트(tilt) 각도 중 적어도 하나를 포함하며,

상기 제어 알고리즘 학습부는,

손실 함수(Loss Function)의 형태로 발전량의 변화를 피드백하며,

상기 손실 함수에 의한 결과값이 가장 작아지는 방향으로 상기 제어 변수를 설정하는 미래 풍황 예측을 통한 풍력발전 시스템.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 예측 풍황데이터 생성부는 생성적적대신경망(GANs, Generative Adversarial Networks)으로 학습하여 미래의 예측 풍황 데이터를 생성하는 미래 풍황 예측을 통한 풍력발전 시스템.

청구항 3

제2 항에 있어서,

상기 제어 알고리즘 학습부는,

상기 풍력발전기의 현재 상태에 대한 데이터를 상기 풍력발전기로부터 수신하며,

상기 제어 변수의 변화에 따른 발전효율의 변화를 학습시키는 미래 풍황 예측을 통한 풍력발전 시스템.

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

제3 항에 있어서,

상기 제어 알고리즘 학습부는 인공지능을 심층 결정론적 정책 경사법(DDPG, Deep Deterministic Policy Gradient)으로 학습시키는 미래 풍황 예측을 통한 풍력발전 시스템.

청구항 7

제1 항에 있어서,

상기 제어부는 상기 풍력발전기에 구비된 센서로부터 현재 풍황을 측정하며,

상기 예측 풍황 데이터와 상기 현재 풍황 값의 오차를 반영하여 상기 풍력발전기를 제어하는 미래 풍황 예측을 통한 풍력발전 시스템.

청구항 8

풍력발전기가 설치된 기준위치로부터 소정거리 내의 다 지점에서 시계열 풍황 데이터를 측정하는 단계;

상기 시계열 풍황 데이터를 근거로 현재 시점 이후의 상기 기준위치에서의 예측 풍황 데이터를 생성하는 단계;

상기 예측 풍황 데이터에 근거하여 상기 풍력발전기의 발전효율을 증가시킬 수 있도록 상기 풍력발전기에 적용되는 제어 알고리즘을 학습시켜 제어 변수를 생성하는 단계; 및

상기 생성된 제어 변수를 근거로 상기 풍력발전기를 제어하는 단계를 포함하며,

상기 제어 변수는,

상기 풍력발전기의 블레이드의 피치(pitch) 및 회전속도, 타워의 요(yaw) 각도 및 틸트(tilt) 각도 중 적어도 하나를 포함하며,

상기 제어 알고리즘의 학습은,

손실 함수(Loss Function)의 형태로 발전량의 변화를 피드백하며,

상기 손실 함수에 의한 결과값이 가장 작아지는 방향으로 상기 제어 변수를 설정하도록 수행되는 미래 풍황 예측을 통한 풍력발전기 제어방법.

청구항 9

제8 항에 있어서,

상기 예측 풍황 데이터는 생성적적대신경망(GANs, Generative Adversarial Networks)을 근거로 생성된 현재로부터 미래의 일정기간동안의 풍황에 대한 정보를 포함하는 미래 풍황 예측을 통한 풍력발전기 제어방법.

청구항 10

제9 항에 있어서,

상기 제어 알고리즘의 학습은,

상기 풍력발전기의 현재 상태에 대한 데이터를 상기 풍력발전기로부터 수신하며,

상기 제어 변수의 변화에 따른 발전효율의 변화를 기반으로 수행되는 미래 풍황 예측을 통한 풍력발전기 제어방법.

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

제10 항에 있어서,

상기 제어 알고리즘의 학습은 인공지능을 심층 결정론적 정책 경사법(DDPG, Deep Deterministic Policy Gradient)으로 학습시켜 수행되는 미래 풍황 예측을 통한 풍력발전기 제어방법.

청구항 14

제8 항에 있어서,

상기 풍력발전기를 제어하는 단계는 상기 풍력발전기에 구비된 센서로부터 현재 풍황을 측정하며,

상기 예측 풍황 데이터와 상기 현재 풍황 값의 오차를 반영하여 상기 제어 변수를 갱신하는 미래 풍황 예측을 통한 풍력발전기 제어방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 미래 풍황 예측을 통한 풍력발전 시스템 및 풍력발전기 제어방법에 관한 것이며, 보다 상세하게는 발전효율을 최대화하기 위한 미래 풍황 예측 인공지능 모델을 활용한 풍력발전기 제어 알고리즘에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 풍력발전기는 공기의 운동에너지를 전기에너지로 변환하는 장치이다. 풍력발전기는 무한한 에너지인 풍력을 이용한다는 점에서 친환경 발전기의 하나로 널리 이용되고 있다.

[0003] 종래의 풍력발전기의 제어 알고리즘은 이론적으로 모델링한 전력 계수 곡선과 현재 측정된 풍황 및 풍력발전기의 회전 속도를 사용한다. 이 경우, 이론적으로 풍력발전기의 효율을 극대화 시킬 수 있다고 알려져 있다. 하지만 제어 알고리즘이 모두 풍황 및 풍속이 크게 변하지 않는다고 가정하여 현재 측정된 유동 정보를 사용하기 때문에 이로 인해 이론적인 제어 효율과 실제 적용 시 측정된 제어 효율의 차이를 보인다. 국내외에서는 풍황의 불안정한 난류 효과로 인한 풍력발전기 제어 성능 감소 문제를 해결하고자 현재 측정된 풍황에 대해 피치/요/틸트 제어의 안정성을 높이는 방향의 연구가 진행되었다.

[0004] 이러한 종래의 풍력발전기와 관련하여 대한민국 공개특허 제20170052339호가 개시되어 있다. 이러한 종래의 풍력발전기는 실시간 제어시 급격한 풍황의 변화 등에 빠르게 대응할 수 있도록 개발되어 왔다.

[0005] 그러나, 이러한 종래기술은 현재 측정된 풍황 정보만을 사용하기 때문에 시간에 따라 불안정하게 변하는 풍황에 의한 발전 효율을 증가시키는 것에 한계가 있는 문제점이 있었다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허 제20170052339호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 전술한 종래의 풍력발전기 제어의 한계를 극복할 수 있도록 미래 풍황 예측을 기반으로 풍력발전기를 제어하여 발전 효율을 극대화할 수 있는 미래 풍황 예측을 통한 풍력발전 시스템 및 풍력발전기 제어방법을 제공하는 것에 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기 과제의 해결 수단으로서, 풍력발전기, 풍력발전기를 기준위치로 하여 소정 거리 이격되어 구비되며, 시계열 풍황 데이터를 측정하는 복수의 풍황 측정 센서, 풍황 측정 센서로부터 측정된 시계열 풍황 데이터로부터 기준위치에서 미래의 예측 풍황 데이터를 생성하는 예측 풍황 데이터 생성부, 예측 풍황 데이터에 근거하여 풍력발전기의 발전효율을 증가시킬 수 있도록 풍력발전기에 적용되는 제어 알고리즘을 학습시켜 제어 변수를 생성하는 제어 알고리즘 학습부, 제어 변수에 따라 풍력발전기를 제어하는 제어부를 포함하는 미래 풍황 예측을 통한

풍력발전 시스템이 제공될 수 있다.

- [0009] 한편, 예측 풍황 데이터 생성부는 생성적적대신경망(GANs, Generative Adversarial Networks)으로 학습하여 미래의 예측 풍황 데이터를 생성할 수 있다.
- [0010] 한편, 제어 알고리즘 학습부는, 풍력발전기의 현재 상태에 대한 데이터를 풍력발전기로부터 수신하며, 제어 변수의 변화에 따른 발전효율의 변화를 학습시킬 수 있다.
- [0011] 또한, 제어 알고리즘 학습부는, 손실 함수(Loss Function)의 형태로 발전량의 변화를 피드백하며, 손실 함수에 의한 결과 값이 가장 작아지는 방향으로 제어 변수를 설정할 수 있다.
- [0012] 이때, 제어 변수는, 풍력발전기의 블레이드의 피치(pitch) 및 회전속도, 타워의 요(yaw) 각도 및 틸트(tilt) 각도 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0013] 또한, 제어 알고리즘 학습부는 인공지능을 심층 결정론적 정책 경사법(DDPG, Deep Deterministic Policy Gradient)으로 학습시킬 수 있다.
- [0014] 한편, 제어부는 풍력발전기에 구비된 센서로부터 현재 풍황을 측정하며, 예측 풍황데이터와 현재 풍황 값의 오차를 반영하여 풍력발전기를 제어할 수 있다.
- [0015] 추가로, 풍력발전기가 설치된 기준위치로부터 소정거리 내의 다 지점에서 시계열 풍황데이터를 측정하는 단계, 시계열 풍황데이터를 근거로 현재 시점 이후의 기준위치에서의 예측 풍황 데이터를 생성하는 단계, 예측 풍황 데이터에 근거하여 풍력발전기의 발전효율을 증가시킬 수 있도록 풍력발전기에 적용되는 제어 알고리즘을 학습시켜 제어 변수를 생성하는 단계 및 생성된 제어 변수를 근거로 풍력발전기를 제어하는 단계를 포함하는 미래 풍황 예측을 통한 풍력발전기 제어방법이 제공될 수 있다.
- [0016] 한편, 예측 풍황데이터는 생성적적대신경망(GANs, Generative Adversarial Networks)을 근거로 생성된 현재로부터 미래의 일정기간동안의 풍황에 대한 정보를 포함할 수 있다.
- [0017] 이때, 제어 알고리즘의 학습은, 풍력발전기의 현재 상태에 대한 데이터를 풍력발전기로부터 수신하며, 제어 변수의 변화에 따른 발전효율의 변화를 기반으로 수행될 수 있다.
- [0018] 한편, 제어 알고리즘의 학습은, 손실 함수(Loss Function)의 형태로 발전량의 변화를 피드백하며, 손실 함수에 의한 결과 값이 가장 작아지는 방향으로 제어 변수를 설정하도록 수행될 수 있다.
- [0019] 이때, 제어 변수는, 풍력발전기의 블레이드의 피치(pitch) 및 회전속도, 타워의 요(yaw) 각도 및 틸트(tilt) 각도 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0020] 한편, 제어 알고리즘의 학습은 인공지능을 심층 결정론적 정책 경사법(DDPG, Deep Deterministic Policy Gradient)으로 학습시켜 수행될 수 있다.
- [0021] 한편, 풍력발전기를 제어하는 단계는 풍력발전기에 구비된 센서로부터 현재 풍황을 측정하며, 예측 풍황데이터와 현재 풍황 값의 오차를 반영하여 제어 변수를 갱신할 수 있다.

발명의 효과

- [0022] 본 발명에 따른 미래 풍황 예측을 통한 풍력발전 시스템 및 미래 풍황 예측을 통한 풍력발전기 제어 방법은 예측 인공지능 모델을 활용하여 풍력발전기를 포함하는 지역에서의 시간 변화에 따른 풍황 데이터를 미리 얻을 수 있다. 풍황 예측 인공지능 모델은 해당 지역에서의 풍황을 지속적으로 학습하며, 따라서 높은 신뢰도를 가지는 풍황 데이터를 제공할 수 있다.
- [0023] 풍력발전기 제어를 위한 인공지능 모델을 활용하여 예측 풍황 조건에 대하여 풍력발전기의 효율을 최대화하는 제어 알고리즘을 도출할 수 있다. 현재 풍황 조건뿐만 아니라 미래 풍황 조건도 사용하기 때문에 시간 변화에 따른 안정적인 제어가 가능하며 예측 풍황 및 실제 풍황 오차에 대해서도 강건한 제어를 수행할 수 있다.
- [0024] 풍력발전기와 인공지능 모델의 정보 교환을 통해 인공지능 모델이 풍력발전기의 발전량, 발전 효율, 제어 변수의 상태 등을 입력 정보로 받아들이기 때문에 전력 계수가 주어지지 않은 풍력발전기에 대해서도 인공지능 모델을 활용한 제어를 일반화하여 적용할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0025] 도 1은 풍력발전기의 조절에 대한 개념도이다.
- 도 2는 본 발명에 따른 일 실시예인 미래 풍황 예측을 통한 풍력발전 시스템의 블록도이다.
- 도 3은 미래 풍황 예측 인공지능 모델의 개념도이다.
- 도 4는 제어 알고리즘 결정 인공지능 모델의 개념도이다.
- 도 5는 본 발명에 따른 일 실시예인 미래 풍황 예측을 통한 풍력발전기 제어방법의 순서이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0026] 이하, 본 발명의 실시 예에 따른 미래 풍황 예측을 통한 풍력발전 시스템 및 풍력발전기 제어방법에 대하여, 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명한다. 그리고 이하의 실시예의 설명에서 각각의 구성요소의 명칭은 당업계에 다른 명칭으로 호칭될 수 있다. 그러나 이들의 기능적 유사성 및 동일성이 있다면 변형된 실시예를 채용하더라도 균등한 구성으로 볼 수 있다. 또한 각각의 구성요소에 부가된 부호는 설명의 편의를 위하여 기재된다. 그러나 이들 부호가 기재된 도면상의 도시 내용이 각각의 구성요소를 도면내의 범위로 한정하지 않는다. 마찬가지로 도면상의 구성을 일부 변형한 실시예가 채용되더라도 기능적 유사성 및 동일성이 있다면 균등한 구성으로 볼 수 있다. 또한 당해 기술 분야의 일반적인 기술자 수준에 비추어 보아, 당연히 포함되어야 할 구성요소로 인정되는 경우, 이에 대하여는 설명을 생략한다.
- [0027] 도 1은 풍력발전기의 조절에 대한 개념도이다.
- [0028] 도 1을 참조하면, 풍력발전기는 풍속 및 풍향에 맞추어 발전 효율을 극대화할 수 있도록 발전기의 각도조절(YAW, TILT) 및 블레이드의 각도(PITCH) 및 회전속도를 조절할 수 있도록 구성된다.
- [0029] 종래의 풍력발전기는 현재 측정된 풍황 정보를 이용하여 발전 효율을 조절하는 제어 알고리즘을 사용한다. 이때 풍황이 시간에 따라 크게 변하지 않는다고 가정한 제어 알고리즘을 사용하기 때문에 실제 제어 적용 시 측정된 효율은 이론적인 효율 대비 낮은 값을 보인다. 높은 발전량을 얻을 수 있는 빠른 풍속의 바람 구간은 시간에 따른 풍황의 변화가 크기 때문에 실제 발전량과 이론적인 발전량의 차이는 더욱 크다. 또한, 풍속이 정격 풍속 대비 빠른 경우 정격 발전량을 유지하는 피치 제어 알고리즘을 사용하지만 급격히 변하는 풍속에 실시간으로 제어되기 어려워 풍력발전기의 구조적 안정성에 악영향을 미치는 문제점이 있다.
- [0030] 도 2는 본 발명에 따른 일 실시예인 미래 풍황 예측을 통한 풍력발전 시스템의 블록도이다.
- [0031] 도 2를 참조하면, 전술한 종래의 문제점을 해결할 수 있는 본 발명에 따른 일 실시예인 미래 풍황 예측을 통한 풍력발전 시스템은 풍력발전기(40), 풍황 측정 센서(10), 예측 풍황 데이터 생성부(20), 제어 알고리즘 학습부(30) 및 제어부(41)를 포함하여 구성될 수 있다.
- [0032] 풍력발전기(40)는 도 1에서 설명한 종래의 풍력발전기(40)로 구성될 수 있다. 풍력발전기(40)는 각도 조절 및 블레이드의 회전속도와 피치 각도가 조절될 수 있도록 구성될 수 있다. 또한 풍력발전기(40)는 기준위치에 설치되며, 기준위치의 바람 방향 및 바람 세기를 측정할 수 있는 내부 센서(43)를 포함하여 구성될 수 있다. 풍력발전기(40)는 후술할 제어부(41)를 포함할 수 있으며, 자세 조절 및 블레이드의 조절을 위한 구동부(42)가 구비될 수 있다. 한편 복수의 풍력발전기(40)가 시스템상에 구비된 경우 서로 다른 지점에 설치된 풍력발전기(40) 각각의 내부 센서(43)가 풍황 측정 센서(10)로서 기능할 수 있다. 다만, 이러한 풍력발전기(40)의 구성은 일반적으로 널리 쓰이는 전력 발전을 위한 제너레이터 및 풍력발전기(40)의 구성을 포함하여 구성될 수 있으므로 더 이상의 상세한 설명은 생략하도록 한다.
- [0033] 풍황 측정 센서(10)는 전술한 풍력발전기(40)가 위치한 지점을 기준위치로 하여 기준위치로부터 이격된 복수의 지점에 구비될 수 있다. 다수의 지점에서 현재의 풍황에 대한 데이터를 측정할 수 있다. 풍황 측정 센서(10)는 일례로서, 풍향풍속계, 피토투브 등의 널리 풍황을 측정하기 위해 사용되는 구성으로 이루어질 수 있다.
- [0034] 예측 풍황 데이터 생성부(20)는 복수의 풍황 측정 센서(10)로부터 데이터를 수신하고 미래에 대한 예측 풍황 데이터를 생성할 수 있도록 구성된다. 이때 예측 풍황 데이터는 인공지능을 학습시켜 생성될 수 있다. 이에 대하여는 차후 도 3을 참조하여 상세히 설명하도록 한다.
- [0035] 제어 알고리즘 학습부(30)는 전술한 예측 풍황 데이터 생성부(20)로부터 생성된 예측 풍황 데이터를 기반으로 풍력발전기(40)의 제어 알고리즘을 생성할 수 있도록 구성된다. 제어 알고리즘 학습부(30)는 예측 풍황 데이터에 풍력발전기(40)의 전력 생산 효율을 극대화할 수 있는 방향으로 제어 알고리즘을 학습할 수 있다. 한편 이에

대하여는 차후 도 4를 참조하여 상세히 설명하도록 한다.

- [0036] 제어부(41)는 제어 알고리즘 학습부(30)가 학습한 이후 예측 풍황 데이터에 따라 새롭게 생성한 제어변수를 입력받고 풍력발전기(40)를 제어할 수 있도록 구성된다. 제어부(41)의 출력에 따라 일 예로서, 구동부(42)가 구동되어 풍력발전기의 자세(YAW, TILT)가 조절되거나, 블레이드의 각도 또는 회전속도가 조절될 수 있다.
- [0037] 이하에서는 도 3을 참조하여, 예측 풍황 데이터 생성부(20)에 대하여 상세히 설명하도록 한다.
- [0038] 도 3은 미래 풍황 예측 인공지능 모델의 개념도이다.
- [0039] 도 3을 참조하면, 예측 풍황 데이터 생성부(20)는 인공지능을 학습시켜 실시간으로 변하는 풍황을 근거로 미래의 풍황을 예측할 수 있도록 구성된다. 예측 풍황 데이터 생성부(20)는 일 예로 생성적적대신경망(GANs, Generative Adversarial Networks)을 이용하여 학습될 수 있다. 이때 복수의 지점에서 풍황 측정 센서(10)에 의해 측정된 시계열 풍황 데이터를 이용하여 바람이 가진 시공간적 특성을 학습할 수 있도록 하여 미래 풍황을 높은 정확도로 예측한다.
- [0040] 한편, 바람의 흐름을 나타내는 유체의 나비에-스톡스 지배 방정식은 시간과 공간에 대한 함수이기 때문에, 풍황 예측의 정확도 향상을 위해 다 지점에서 측정된 시계열 풍황 데이터를 이용한다. 예측 풍황 데이터 생성부(20)에 구비된 인공지능 모델은 데이터를 원본 대비 작은 크기로 공간상 및 시간상으로 무수히 많이 추출한 뒤 사용하게 된다. 이를 통해 해당 풍황 데이터가 가지고 있는 공간 및 시간적 특성을 효과적으로 학습하고 데이터를 병렬화 하는 효과를 얻어 전산 비용 상 효율적으로 학습을 수행할 수 있게 된다.
- [0041] 예측 풍황 데이터를 이용하는 경우 급격한 풍황의 변화가 예측되는 경우 이에 대응하여 빠르게 대응이 이루어질 수 있으나, 풍황이 급격하게 변할수록 예측 풍황 데이터의 신뢰도가 낮아진다. 즉, 이 경우 오차가 커지게 된다. 이때 오차를 포함하는 미래 예측값은 오차에 강건한 제어 모델을 생성함으로써 고효율을 유지할 수 있다. 다만, 강건한 제어 인공지능 모델을 생성하더라도 예측 풍황 데이터는 실제와 오차가 작을수록 바람직하다.
- [0042] 예측 풍황 데이터 생성부(20)는 이와 같이 인공지능을 이용하여 다수의 지점에서 측정된 과거와 현재 풍황 데이터를 근거로 신뢰도 높은 미래의 예측 풍황 데이터를 생성하고 제어 알고리즘 생성부로 전송하게 된다.
- [0043] 이하에서는 도 4를 참조하여 제어 알고리즘 학습부(30)에 대하여 설명하도록 한다.
- [0044] 도 4는 제어 알고리즘 결정 인공지능 모델의 개념도이다.
- [0045] 도 4를 참조하면, 제어 알고리즘 학습부(30)는 현재 상태(STATE)를 입력으로 하여 제어 값(ACTION)을 지정할 수 있도록 구성된다. 제어 알고리즘 학습부(30)는 풍력발전기(40)의 구조에 따라 전력 계수의 그래프 개형이 달라지기 때문에 입력으로 사용하는 상태가 달라져야 풍력발전기(40)의 최대 발전량을 얻는 제어 알고리즘을 학습할 수 있다.
- [0046] 일 예로, 풍력발전기(40)의 블레이드 피치 각도 및 회전 속도, 타워의 요 각도 및 틸트 각도, 현재 발전 효율을 상태(STATE)로 사용할 수 있으며, 이 때의 제어 값(ACTION)이 지정되면 제어 값에 따라 현재의 풍력발전기(40)의 상태가 다시 달라질 수 있다.
- [0047] 이때 제어 인공지능 학습부는 학습하여 생성한 제어 알고리즘이 예측 풍황 데이터를 근거로 풍력 발전기를 제어할 때 실제 발전량에 어떠한 변화를 일으키는지 정보를 수집할 수 있게 된다.
- [0048] 제어 알고리즘 학습부(30)는 손실함수(LOSS FUNCTION)의 형태로 제어 알고리즘에 따른 발전량의 변화를 피드백 받을 수 있다. 제어 알고리즘 학습부(30)는 이러한 손실함수가 미래의 전체 기간 동안 가장 작아지는 방향으로 제어 알고리즘을 결정하게 된다.
- [0049] 일 예로서, 제어 알고리즘 학습부(30)는 전술한 바와 같이, 예측 풍황 데이터가 실제 풍황 데이터에 대한 오차를 포함하고 있어, 오차에 강건한 인공지능 모델을 이용하여 제어 알고리즘을 생성할 수 있다. 여기서 제어 알고리즘은 일 예로서, 강화 학습의 일환인 심층 결정론적 정책 경사법(DDPG, Deep Deterministic Policy Gradient)을 사용하여 제어 알고리즘을 생성할 수 있다. 제어 알고리즘이 생성되면, 예측 풍황 데이터를 근거로 현재 제어를 위한 제어 변수를 생성하고, 풍력발전기(40)에 전송할 수 있다. 풍력발전기(40)에서는 전송받은 제어 변수를 근거로 구동부(42)를 제어하여 전력효율을 극대화 할 수 있다. 이때 내부 센서(43)에 의해 기준위치, 즉 실제 풍력발전기(40)에서 풍황 데이터와의 오차를 반영하여 제어가 수행될 수 있다.
- [0050] 이하에서는 도 5를 참조하여 본 발명에 따른 다른 실시예인 미래 풍황 예측을 통한 풍력발전기 제어방법에 대하여

여 설명하도록 한다.

- [0051] 도 5는 본 발명에 따른 일 실시예인 미래 풍황 예측을 통한 풍력발전기 제어방법의 순서이다.
- [0052] 도 5를 참조하면, 본 발명에 따른 미래 풍황 예측을 통한 풍력발전기 제어방법은 다 지점에서 시계열 풍황데이터를 측정하는 단계(S100), 기준위치에서의 예측 풍황 데이터를 생성하는 단계(S200), 풍력발전기에 적용되는 제어 알고리즘을 학습시켜 제어 변수를 생성하는 단계(S300) 및 풍력발전기를 제어하는 단계(S400)를 포함하여 구성될 수 있다.
- [0053] 다 지점에서 시계열 풍황데이터를 측정하는 단계(S100)는 풍력발전기가 설치된 기준위치로부터 소정거리 이격된 복수의 지점에서 과거와 현재의 시계열 풍황 데이터를 수집하는 단계에 해당한다.
- [0054] 기준위치에서의 예측 풍황 데이터를 생성하는 단계(S200)는 시계열 풍황 데이터를 근거로 현재 시점 이후의 기준위치에서 미래에 예측되는 풍황 데이터를 생성하는 단계에 해당한다. 본 단계(S200)는 도 3에서 설명한 인공지능을 학습시켜 수행될 수 있다. 일 예로서, 예측 풍황 데이터 생성부는 인공지능을 학습시켜 실시간으로 변하는 풍황을 근거로 미래의 풍황을 예측할 수 있도록 구성된다. 예측 풍황 데이터 생성부는 일 예로 생성적적대신경망(GANs, Generative Adversarial Networks)을 이용하여 학습될 수 있다. 이때 복수의 지점에서 풍황 센서에 의해 측정된 시계열 풍황 데이터를 이용하여 바람이 가진 시공간적 특성을 학습할 수 있도록 하여 미래 풍황을 높은 정확도로 예측할 수 있다.
- [0055] 풍력발전기에 적용되는 제어 알고리즘을 학습시켜 제어 변수를 생성하는 단계(S300)는 인공지능 모델은 현재 상태(STATE)를 전달받아 제어 값(ACTION)을 지정하게 되며, 풍력발전기의 구조에 따라 전력 계수의 그래프 개형이 달라지게 되므로, 입력으로 사용하는 상태를 변화시켜가면서 학습을 수행한다. 이때 입력으로 사용하는 상태는 예측 풍황 데이터로부터 획득한 데이터 및 이로 인한 풍력발전기의 상태가 될 수 있다. 이때 제어 값은 현재 상태를 바꾸게 되며, 예측 풍황 데이터를 이용하여 제어 알고리즘을 설계할 때 발전량에 어떤 변화를 일으키는지 실시간으로 정보를 수집하고 학습할 수 있다. 한편, 이러한 AI의 학습은 전술한 바와 같이 강화 학습의 일환인 심층 결정론적 정책 경사법(DDPG, Deep Deterministic Policy Gradient)이 사용될 수 있다.
- [0056] 학습에 의해 제어 알고리즘이 생성되면, 제어 알고리즘 및 예측 풍황데이터를 기반으로 제어 변수를 생성하게 된다. 생성된 제어 변수는 풍력발전기로 전송된다.
- [0057] 풍력발전기를 제어하는 단계(S400)는 전송받은 제어 변수를 기반으로 구동기를 조절하여 풍력발전기의 방향/자세 그리고 플레이드의 각도 및 회전 속도 중 적어도 하나를 조절하는 단계에 해당한다. 이때 풍력 발전기 내에 구비된 내부 센서에서 피드백된 신호를 기반으로 제어가 이루어질 수 있다. 이때 피드백 신호를 기반으로 제어 변수가 갱신되어 제어가 수행될 수 있다.
- [0058] 이상에서 설명한 바와 같이 본 발명에 따른 미래 풍황 예측을 통한 풍력발전 시스템 및 미래 풍황 예측을 통한 풍력발전기 제어 방법은 예측 인공지능 모델을 활용하여 풍력발전기를 포함하는 지역에서의 시간 변화에 따른 풍황 데이터를 미리 얻을 수 있다. 풍황 예측 인공지능 모델은 해당 지역에서의 풍황을 지속적으로 학습하며, 따라서 높은 신뢰도를 가지는 풍황 데이터를 제공할 수 있다.
- [0059] 풍력발전기 제어를 위한 인공지능 모델을 활용하여 예측 풍황 조건에 대하여 풍력발전기의 효율을 최대화하는 제어 알고리즘을 도출할 수 있다. 현재 풍황 조건뿐만 아니라 미래 풍황 조건도 사용하기 때문에 시간 변화에 따른 안정적인 제어가 가능하며 예측 풍황 및 실제 풍황 오차에 대해서도 강건한 제어를 수행할 수 있다.
- [0060] 풍력발전기와 인공지능 모델의 정보 교환을 통해 인공지능 모델이 풍력발전기의 발전량, 발전 효율, 제어 변수의 상태 등을 입력 정보로 받아들이기 때문에 전력 계수가 주어지지 않은 풍력발전기에 대해서도 인공지능 모델을 활용한 제어를 일반화하여 적용할 수 있다.

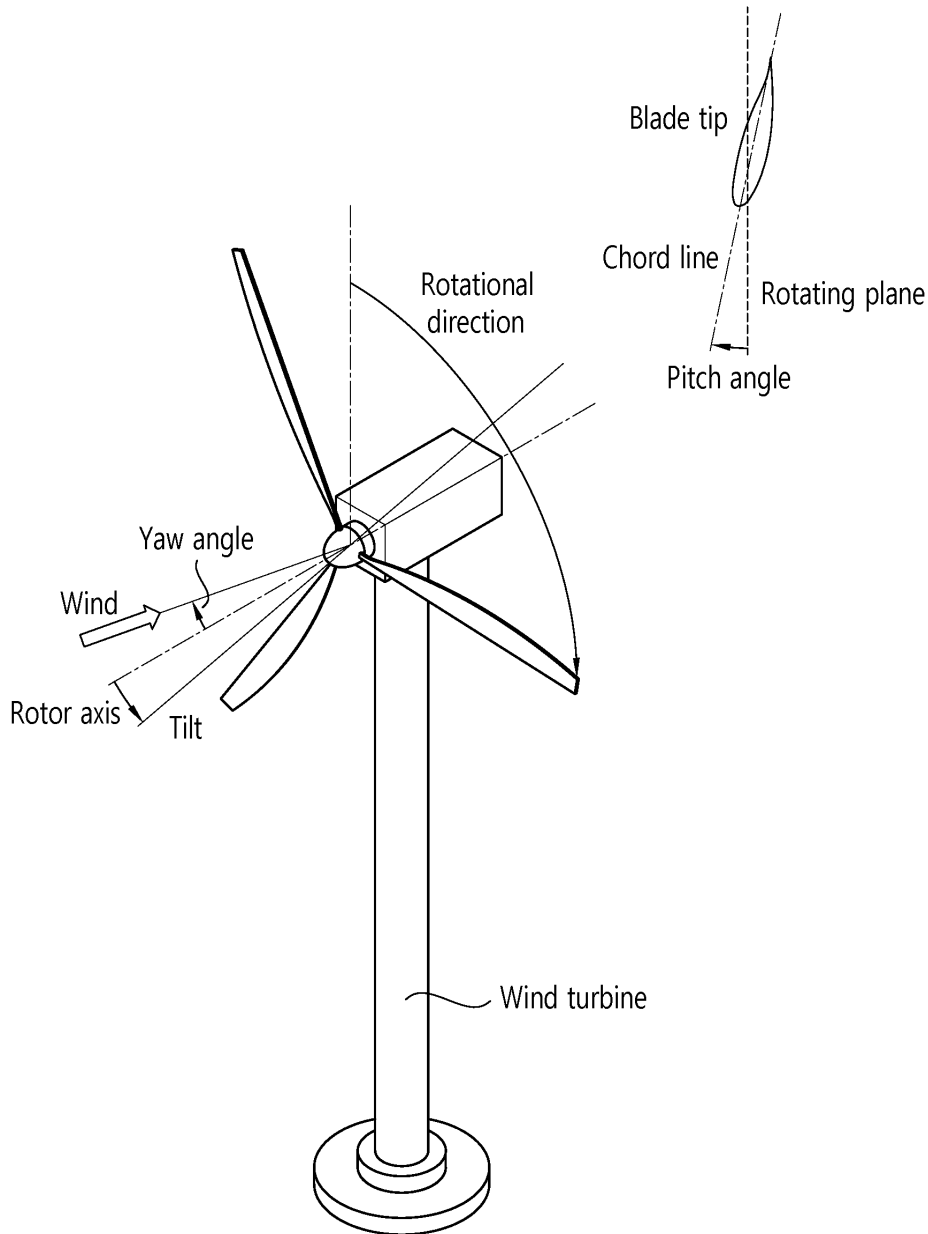
부호의 설명

- [0061] 10: 풍황 센서
- 20: 예측 풍황 데이터 생성부
- 30: 제어 알고리즘 학습부
- 40: 풍력발전기

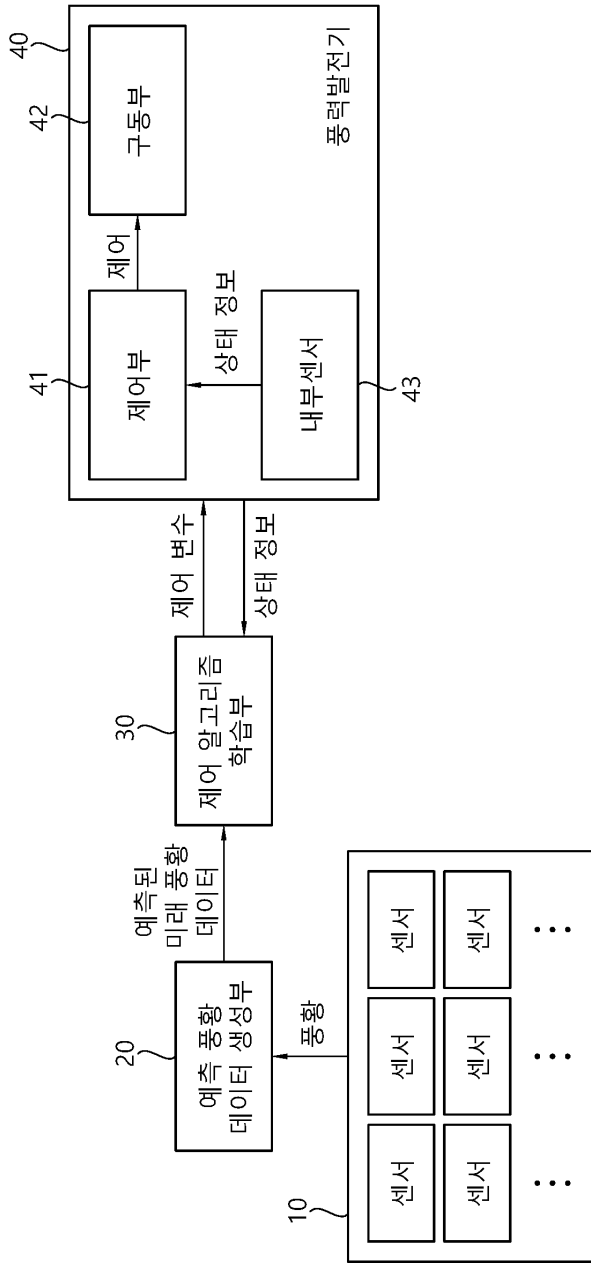
- S100: 다 지점에서 시계열 풍향 데이터를 측정하는 단계
- S200: 기준위치에서의 예측 풍향 데이터를 생성하는 단계
- S300: 풍력발전기에 적용되는 제어 알고리즘을 학습시켜 제어 변수를 생성하는 단계
- S400: 풍력발전기를 제어하는 단계

도면

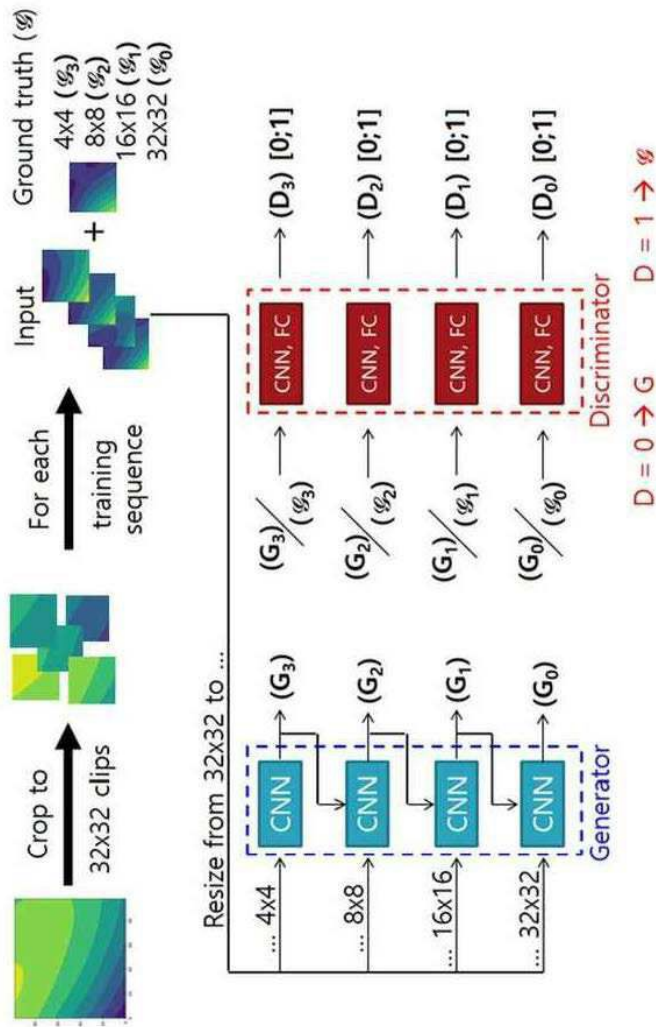
도면1



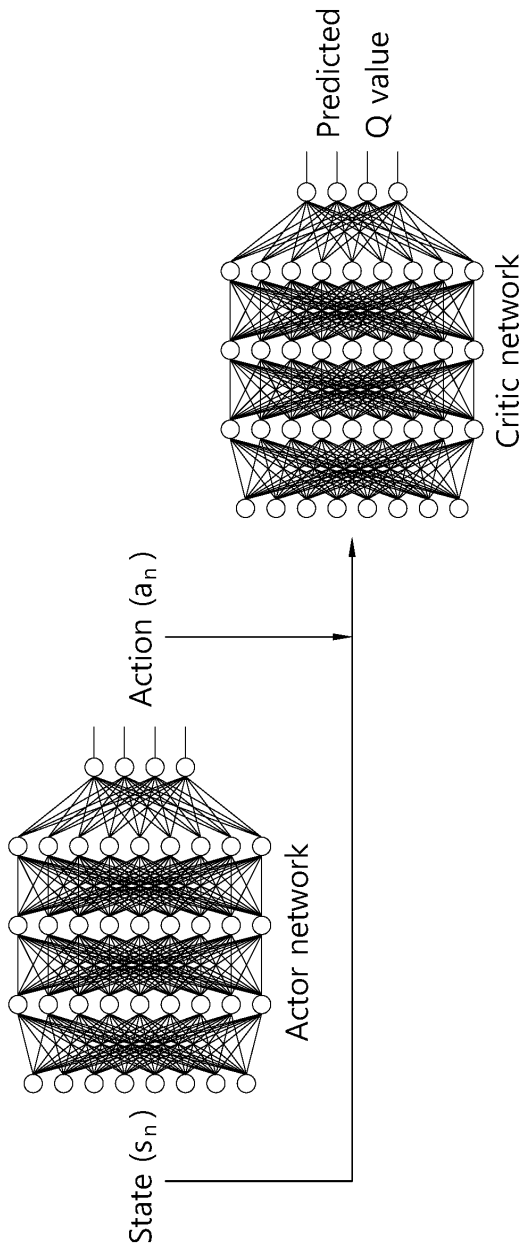
도면2



도면3



도면4



$$\text{Loss function} = (\text{Predicted } Q - \text{target } Q)^2$$

도면5

