(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년12월27일
(11) 등록번호 10-1345598
(24) 등록일자 2013년12월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F03D 11/00 (2006.01) *F03D 7/00* (2006.01)
G05B 23/02 (2006.01) *G05B 19/18* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-0086771
(22) 출원일자 2012년08월08일
심사청구일자 2012년08월08일
(56) 선행기술조사문헌
KR100954090 B1
KR100963685 B1
KR1020110005893 A

(73) 특허권자
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 국제캠퍼스 내 (서천동, 경희대학교)
(72) 발명자
김영진
경기도 과천시 별양로 12, 315동 1502호 (원문동, 래미안슈르아파트)
오세도
인천광역시 남동구 석산로 79 (간석동)
(74) 대리인
특허법인 정안

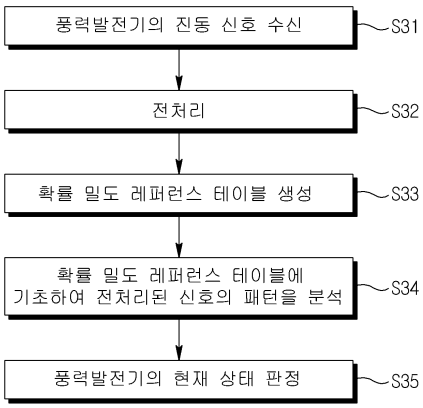
전체 청구항 수 : 총 20 항 심사관 : 박종오

(54) 발명의 명칭 **풍력발전기 상태 모니터링 방법 및 시스템**

(57) 요 약

본 발명은 풍력 발전 설비를 신뢰성 있게 실시간 상태 감시하고 설비의 고장 시 고장 진단과 더불어 고장의 진행 경고 및 고장의 유형을 판단해 낼 수 있는 풍력발전기 상태 모니터링 방법 및 시스템에 관한 것으로, 풍력발전기 상태 모니터링 방법은, 풍력발전기에 부착된 센서로부터 풍력발전기의 소음 또는 진동 신호를 수신하는 단계와, 전처리 모듈에서 진동 신호를 전처리하는 단계와, 레퍼런스 생성 모듈에서 전처리 모듈을 통해 전처리된 레퍼런스 데이터에 기초하여 확률밀도 레퍼런스 테이블을 생성하는 단계와, 진단 모듈에서 전처리 모듈을 통해 전처리된 감시 대상 데이터의 패턴을 확률밀도 레퍼런스 테이블에 기초하여 분석하는 단계와, 감시 대상 데이터의 패턴 분석 결과에 기초하여 풍력발전기의 현재 상태를 판정하는 단계를 포함한다.

대 표 도 - 도3



특허청구의 범위

청구항 1

풍력발전기 상태 모니터링 시스템에서 풍력발전기의 상태를 모니터링하는 방법에 있어서,

풍력발전기에 부착된 센서로부터 풍력발전기의 소음 또는 진동 신호를 수신하는 단계;

전처리 모듈에서 상기 진동 신호를 전처리하는 단계;

레퍼런스 생성 모듈에서 상기 전처리 모듈을 통해 전처리된 레퍼런스 데이터에 기초하여 확률밀도 레퍼런스 테이블을 생성하는 단계;

진단 모듈에서 상기 전처리 모듈을 통해 전처리된 감시 대상 데이터의 패턴을 상기 확률밀도 레퍼런스 테이블에 기초하여 분석하는 단계; 및

상기 감시 대상 데이터의 패턴 분석 결과에 기초하여 풍력발전기의 현재 상태를 판정하는 단계

를 포함하는 풍력발전기 상태 모니터링 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 진동 신호를 전처리하는 단계는,

상기 진동 신호의 시간 영역의 데이터 파형에 대해 블레이드 1회전 단위로 분할하고 이를 평균한 제1 동기 신호를 생성하는 단계;

상기 제1 동기 신호를 다운 샘플링하여 여러 개의 제2 동기 신호로 분할하는 단계;

상기 분할된 제2 동기 신호의 스펙트럼을 계산하는 단계;

상기 제2 동기 신호의 스펙트럼을 취합하는 단계;

상기 취합한 스펙트럼을 벡터화하는 단계

를 포함하는 풍력발전기 상태 모니터링 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 스펙트럼을 벡터화하는 단계는 각 센서 및 주파수에 따라 테이블 상에 정렬하는 단계를 포함하는 풍력발전기 상태 모니터링 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 확률밀도 레퍼런스 테이블을 생성하는 단계는, 파젠 윈도우 기반 분류기(Parzen Windows Based Classifier)를 이용하여 비모수적 확률 분포를 추정하는 단계는 포함하는 풍력발전기 상태 모니터링 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 확률밀도 레퍼런스 테이블을 생성하는 단계는,

상기 감시 대상 데이터가 출현 가능한 공간에 대하여 등간격으로 나눈 데이터 공간 격자 점을 생성하는 단계;

상기 데이터 공간 격자 점 각각에 대하여 비모수 확률 분포를 추정하는 단계; 및

상기 각 데이터 공간 격자 점에 대한 비모수 확률 분포의 추정 결과를 벡터화하는 단계를 포함하는 풍력발전기

상태 모니터링 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 감시 대상 데이터의 패턴을 확률밀도 레퍼런스 테이블에 기초하여 분석하는 단계는, 상기 풍력발전기의 감시 대상 데이터로부터의 각 벡터에 대해 확률밀도 레퍼런스 테이블에서의 소속 확률을 추정하는 단계를 포함하는 풍력발전기 상태 모니터링 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 소속 확률을 추정하는 단계는,

상기 감시 대상 데이터의 각 벡터의 포인트에 대해 상기 확률밀도 레퍼런스 테이블에 의거 보간을 수행하여 근사 확률 분포를 계산하는 단계 또는 상기 감시 대상 데이터의 각 벡터의 좌표에 대해 확률밀도 레퍼런스 테이블에서의 가장 인접한 격자 점의 확률 분포 기대값을 보간하여 근사 확률 분포를 계산하는 단계; 및

상기 감시 대상 데이터의 벡터 쌍에 대해 추정한 소속 확률 분포 또는 근사 확률 분포를 합하여 정규화하는 단계

를 포함하는 풍력발전기 상태 모니터링 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 풍력발전기의 현재 상태를 판정하는 단계는, 정규화된 데이터에서 가장 큰 소속 확률이 도출된 결과에 대해 소속을 판정하는 단계를 포함하는 풍력발전기 상태 모니터링 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 소속을 판정하는 단계는, 정상 상태, 고장 의심 상태, 고장 유형 및 고장 진행 경고 중 적어도 어느 하나의 상태로 풍력발전기의 현재 상태를 판단하는 단계를 포함하는 풍력발전기 상태 모니터링 방법.

청구항 10

풍력 발전기에서 수집한 레퍼런스 데이터에 기초하여 확률밀도 레퍼런스 테이블을 생성하는 단계;

상기 풍력 발전기에서 수집한 감시 대상 데이터를 벡터화하는 단계;

상기 감시 대상 데이터의 각 벡터에 대해 상기 확률밀도 레퍼런스 테이블에서의 소속 확률을 추정하는 단계; 및

상기 추정한 소속 확률에 기초하여 상기 풍력 발전기의 상태를 진단하는 단계를 포함하는 풍력발전기 상태 모니터링 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 확률밀도 레퍼런스 테이블을 생성하는 단계는,

상기 풍력발전기에서 수신한 레퍼런스 데이터의 시간 영역의 데이터 파형에 대해 블레이드 1회전 단위로 분할하고 이를 평균한 제1 레퍼런스 동기 신호를 생성하는 단계;

상기 제1 레퍼런스 동기 신호를 다운 샘플링하여 여러 개의 제2 레퍼런스 동기 신호로 분할하는 단계;

상기 분할된 제2 레퍼런스 동기 신호의 스펙트럼을 계산하는 단계;

상기 제2 레퍼런스 동기 신호의 스펙트럼을 취합하는 단계;

상기 취합한 스펙트럼을 벡터화하여 정렬하는 단계;

상기 풍력발전기에 대한 감시 대상 데이터가 출현 가능한 공간에 대하여 등간격으로 나눈 데이터 공간 격자 점을 생성하는 단계;

상기 데이터 공간 격자 점 각각에 대하여 비모수 확률 분포를 추정하는 단계; 및

상기 각 데이터 공간 격자 점에 대한 비모수 확률 분포의 추정 결과를 벡터화하여 확률밀도 레퍼런스 테이블을 생성하는 단계

를 포함하는 풍력발전기 상태 모니터링 방법.

청구항 12

제10항에 있어서,

상기 감시 대상 데이터를 벡터화하는 단계는,

상기 풍력발전기에서 수집한 감시 대상 데이터의 시간 영역의 데이터 파형에 대해 블레이드 1회전 단위로 분할하고 이를 평균한 제1 동기 신호를 생성하는 단계;

상기 제1 동기 신호를 다운 샘플링하여 여러 개의 제2 동기 신호로 분할하는 단계;

상기 분할된 제2 동기 신호를 활용하여 스펙트럼을 계산하는 단계;

상기 제2 동기 신호의 스펙트럼을 취합하는 단계; 및

상기 취합한 스펙트럼을 각 센서 및 주파수에 따라 벡터화하는 단계

를 포함하는 풍력발전기 상태 모니터링 방법.

청구항 13

제10항에 있어서,

상기 소속 확률을 추정하는 단계는, 다해상도 보간(Multi-dimension Interpolation) 또는 최단입점 보간(Nearest Neighbor Interpolation)을 통해 상기 감시 대상 데이터의 각 벡터에 대해 상기 확률밀도 레퍼런스 테이블에 기초하여 근사 확률 분포를 계산하는 단계; 및

상기 감시 대상 데이터의 벡터 쌍에 대해 기계산한 근사 확률 분포를 합하여 정규화하는 단계

를 포함하는 풍력발전기 상태 모니터링 방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 풍력 발전기의 상태를 진단하는 단계는, 상기 정규화된 데이터에서 가장 큰 소속 확률이 도출된 결과에 따라 풍력발전기의 현재 상태에 대한 소속을 판정하는 단계를 포함하는 풍력발전기 상태 모니터링 방법.

청구항 15

풍력발전기 상태 모니터링 시스템에 있어서,

풍력발전기에 부착된 센서로부터 풍력발전기의 소음 또는 진동 신호를 수신하는 통신 인터페이스;

상기 진동 신호를 디지털신호처리 기술을 이용하여 전처리하는 전처리 모듈;

상기 전처리 모듈을 통해 전처리된 신호에 기초하여 확률밀도 레퍼런스 테이블을 생성하는 레퍼런스 생성 모듈; 및

상기 확률밀도 레퍼런스 테이블에 기초하여 전처리 모듈을 통해 전처리된 신호의 패턴을 인식하고 분석하여 풍력발전기의 현재 상태를 판정하는 진단 모듈

을 포함하는 풍력발전기 상태 모니터링 시스템.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 전처리 모듈은,

상기 진동 신호의 시간 영역의 데이터 파형에 대해 블레이드 1회전 단위로 분할하고 이를 평균한 제1 동기 신호를 생성하는 PSA 모듈;

상기 제1 동기 신호를 다운 샘플링하여 여러 개의 제2 동기 신호로 분할하는 다운 샘플링 모듈;

상기 분할된 제2 동기 신호의 스펙트럼을 계산하는 연산 모듈;

상기 제2 동기 신호의 스펙트럼을 취합하는 통합 모듈;

상기 취합한 스펙트럼을 벡터화하는 벡터화 모듈

을 포함하는 풍력발전기 상태 모니터링 시스템.

청구항 17

제15항에 있어서,

상기 레퍼런스 생성 모듈은,

감시 대상 데이터가 출현 가능한 공간에 대하여 등간격으로 나눈 데이터 공간 격자 점을 생성하는 특징 공간 생성 모듈;

상기 데이터 공간 격자 점 각각에 대하여 비모수 확률 분포를 추정하는 확률 밀도 추정 모듈; 및

상기 각 데이터 공간 격자 점에 대한 비모수 확률 분포의 추정 결과를 벡터화하여 확률밀도 레퍼런스 테이블을 생성하는 레퍼런스 테이블 생성 모듈

을 포함하는 풍력발전기 상태 모니터링 시스템.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 진단 모듈은,

상기 감시 대상 데이터의 각 벡터의 좌표에 대해 확률밀도 레퍼런스 테이블에서의 가장 인접한 격자 점의 확률 분포 기대값을 보간하여 근사 확률 분포를 계산하는 보간 모듈;

상기 감시 대상 데이터의 벡터 쌍에 대해 상기 확률밀도 레퍼런스 테이블에 기초하여 계산한 근사 확률 분포를 합하여 정규화하는 정규화 모듈; 및

상기 정규화된 데이터에서 가장 큰 소속 확률이 도출된 결과에 따라 풍력발전기의 현재 상태에 대한 소속을 판정하는 소속 판정 모듈

를 포함하는 풍력발전기 상태 모니터링 시스템.

청구항 19

제18항에 있어서,

상기 소속 판정 모듈은 상기 풍력발전기의 현재 상태를 정상 상태, 고장의심 상태, 고장 유형 및 고장 진행 경고 중 적어도 어느 하나의 상태로 판단한 것에 상응하는 모니터링 신호를 출력하는 풍력발전기 상태 모니터링 시스템.

청구항 20

컴퓨터에서 제1항 내지 제14항 중 어느 한 항의 풍력발전기 상태 모니터링 방법을 수행하기 위한 프로그램이 기록된 컴퓨터로 읽을 수 있는 매체.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 풍력발전기 상태 모니터링 방법 및 시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 풍력 발전 설비의 상태 감시에 있어서 인공지능을 도입하여 신뢰성 있는 실시간 상태 감시 및 고장 시 고장 진단과 더불어, 고장의 진행 경고 및 고장의 유형을 판단해 낼 수 있는 풍력발전기 상태 모니터링 방법 및 시스템에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 풍력 발전기의 모니터링 시스템 개발은 종래의 경우 풍력 발전기 제조 회사에서 풍력 발전기와 함께 개발하는 경우가 대부분이었으나 근래에는 기구학적 해석뿐만 아니라 디지털 신호 처리 기술 또한 요구되고 있어 소음 진동 진단을 주력하는 업체의 사업 진출이 활발하게 이루어지고 있는 추세이다.

[0003] 이러한 풍력 발전기의 모니터링 시스템 제품을 출시한 대표적인 회사로서 로맥스(Romax)사와 SKF사를 예로 들 수 있다. 일례로 로맥스사의 대한민국 공개특허공보 제10-2011-0005893호(2011.01.19)에는 기어박스의 모델 기반 진단 방법, 장치 및 컴퓨터 리더블 저장매체가 개시되어 있다.

[0004] 상기한 두 회사의 모니터링 시스템의 경우 통계량의 트랜드를 분석하여 일정 진단 한계선 이상을 벗어나는 경우를 관리하여 모니터링하거나 주파수 영역의 스펙트럼을 분석하여 특정 대역의 신호 성분만을 모니터링하는 단순한 모니터링 수준에 그치고 있어 고장의 유형이나 진단에 대해 사람이 판단하여 검사를 진행해야 하는 단점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허공보 제10-2011-0005893호(2011.01.19)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 전술한 종래 기술의 단점을 해결하기 위해 도출된 것으로, 본 발명의 목적은 풍력 발전 설비의 상태 감시에 있어서 인공지능을 도입하여 신뢰성 있는 실시간 상태 감시 및 고장 시 고장 진단과 더불어, 고장의 진행 경고 및 고장의 유형을 판단해 낼 수 있는 풍력발전기 진동 모니터링 방법 및 시스템을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 상기 기술적 과제를 해결하기 위하여 본 발명의 일 측면에 따른 풍력발전기 상태 모니터링 방법은, 풍력발전기에 연결되는 풍력발전기 상태 모니터링 시스템에서 풍력발전기의 상태를 모니터링하는 방법으로서, 풍력발전기에 부착된 센서로부터 풍력발전기의 소음 또는 진동 신호를 수신하는 단계; 모니터링 시스템에 탑재된 전처리 모듈에서 진동 신호를 전처리하는 단계; 모니터링 시스템에 탑재된 레퍼런스 생성 모듈에서 전처리 모듈을 통해 전처리된 레퍼런스 데이터에 기초하여 확률밀도 레퍼런스 테이블을 생성하는 단계; 모니터링 시스템에 탑재된 진단 모듈에서 전처리 모듈을 통해 전처리된 감시 대상 데이터의 패턴을 확률밀도 레퍼런스 테이블에 기초하여 분석하는 단계; 및 감시 대상 데이터의 패턴 분석 결과에 기초하여 풍력발전기의 현재 상태를 판정하는 단계를 포함한다.

[0008] 일 실시 예에서, 진동 신호를 전처리하는 단계는, 진동 신호의 시간 영역의 데이터 파형에 대해 블레이드 1회전 단위로 분할하고 이를 평균한 제1 동기 신호를 생성하는 단계; 제1 동기 신호를 다운 샘플링하여 여러 개의 제2 동기 신호로 분할하는 단계; 분할된 제2 동기 신호의 스펙트럼을 계산하는 단계; 제2 동기 신호의 스펙트럼을 취합하는 단계; 취합한 스펙트럼을 벡터화하는 단계를 포함한다.

[0009] 일 실시 예에서, 스펙트럼을 벡터화하는 단계는 각 센서 및 주파수에 따라 테이블 상에 각 신호의 스펙트럼을 재정렬하는 단계를 포함한다.

[0010] 일 실시 예에서, 확률밀도 레퍼런스 테이블을 생성하는 단계는, 파젠 윈도우 기반 분류기(Parzen Windows Based Classifier)를 이용하여 비모수적 확률 분포를 추정하는 단계는 포함한다.

[0011] 일 실시 예에서, 확률밀도 레퍼런스 테이블을 생성하는 단계는, 감시 대상 데이터가 출현 가능한 공간에 대하여 등간격으로 나눈 데이터 공간 격자 점을 생성하는 단계; 데이터 공간 격자 점 각각에 대하여 비모수 확률 분포를 추정하는 단계; 및 각 데이터 공간 격자 점에 대한 비모수 확률 분포의 추정 결과를 벡터화하는 단계를 포함한다.

[0012] 일 실시 예에서, 감시 대상 데이터의 패턴을 확률밀도 레퍼런스 테이블에 기초하여 분석하는 단계는, 풍력발전기의 감시 대상 데이터로부터의 각 벡터에 대해 확률밀도 레퍼런스 테이블에서의 소속 확률을 추정하는 단계를 포함한다.

[0013] 일 실시 예에서, 소속 확률을 추정하는 단계는, 감시 대상 데이터의 각 벡터의 포인트에 대해 확률밀도 레퍼런스 테이블에 의거 보간을 수행하여 근사 확률 분포를 계산하는 단계 또는 감시 대상 데이터의 각 벡터의 좌표에 대해 확률밀도 레퍼런스 테이블에서의 가장 인접한 격자 점의 확률 분포 기대값을 보간하여 근사 확률 분포를 계산하는 단계; 및 감시 대상 데이터의 벡터 쌍에 대해 추정한 소속 확률 분포 또는 근사 확률 분포를 합하여 정규화하는 단계를 포함한다.

[0014] 일 실시 예에서, 풍력발전기의 현재 상태를 판정하는 단계는, 정규화된 데이터에서 가장 큰 소속 확률이 도출된 결과에 대해 소속을 판정하는 단계를 포함한다.

[0015] 일 실시 예에서, 소속을 판정하는 단계는, 정상 상태, 고장 의심 상태, 고장 유형 및 고장 진행 경고 중 적어도 어느 하나의 상태로 풍력발전기의 현재 상태를 판단하는 단계를 포함한다.

[0016] 본 발명의 다른 일 측면에 따른 풍력발전기 상태 모니터링 방법은, 풍력 발전기에서 수집한 레퍼런스 데이터에 기초하여 확률밀도 레퍼런스 테이블을 생성하는 단계; 풍력 발전기에서 수집한 감시 대상 데이터를 벡터화하는 단계; 감시 대상 데이터의 각 벡터에 대해 상기 확률밀도 레퍼런스 테이블에서의 소속 확률을 추정하는 단계; 및 추정한 소속 확률에 기초하여 풍력발전기의 상태를 진단하는 단계를 포함한다.

[0017] 일 실시 예에서, 확률밀도 레퍼런스 테이블을 생성하는 단계는, 풍력발전기에서 수신한 레퍼런스 데이터의 시간 영역의 데이터 파형에 대해 블레이드 1회전 단위로 분할하고 이를 평균한 제1 레퍼런스 동기 신호를 생성하는 단계; 제1 레퍼런스 동기 신호를 다운 샘플링하여 여러 개의 제2 레퍼런스 동기 신호로 분할하는 단계; 분할된 제2 레퍼런스 동기 신호의 스펙트럼을 계산하는 단계; 제2 레퍼런스 동기 신호의 스펙트럼을 취합하는 단계; 취합한 스펙트럼을 벡터화하여 정렬하는 단계; 풍력발전기에 대한 감시 대상 데이터가 출현 가능한 공간에 대하여 등간격으로 나눈 데이터 공간 격자 점을 생성하는 단계; 데이터 공간 격자 점 각각에 대하여 비모수 확률 분포를 추정하는 단계; 및 각 데이터 공간 격자 점에 대한 비모수 확률 분포의 추정 결과를 벡터화하여 확률밀도 레퍼런스 테이블을 생성하는 단계를 포함한다.

[0018] 일 실시 예에서, 감시 대상 데이터를 벡터화하는 단계는, 풍력발전기에서 수집한 감시 대상 데이터의 시간 영역의 데이터 파형에 대해 블레이드 1회전 단위로 분할하고 이를 평균한 제1 동기 신호를 생성하는 단계; 제1 동기 신호를 다운 샘플링하여 여러 개의 제2 동기 신호로 분할하는 단계; 분할된 제2 동기 신호를 활용하여 스펙트럼을 계산하는 단계; 제2 동기 신호의 스펙트럼을 취합하는 단계; 및 취합한 스펙트럼을 각 센서 및 주파수에 따라 벡터화하는 단계를 포함한다.

[0019] 일 실시 예에서, 소속 확률을 추정하는 단계는, 다해상도 보간(Multi-dimension Interpolation) 또는 최단입점 보간(Nearest Neighbor Interpolation)을 통해 감시 대상 데이터의 각 벡터에 대해 상기 확률밀도 레퍼런스 테이블에 기초하여 근사 확률 분포를 계산하는 단계; 및 감시 대상 데이터의 벡터 쌍에 대해 기계산한 근사 확률 분포를 합하여 정규화하는 단계를 포함한다.

[0020] 일 실시 예에서, 풍력 발전기의 상태를 진단하는 단계는, 정규화된 데이터에서 가장 큰 소속 확률이 도출된 결과에 따라 풍력발전기의 현재 상태에 대한 소속을 판정하는 단계를 포함한다.

[0021] 본 발명의 일 측면에 따른 풍력발전기 상태 모니터링 시스템은, 풍력발전기에 부착된 센서로부터 풍력발전기의 소음 또는 진동 신호를 수신하는 통신 인터페이스; 진동 신호를 디지털신호처리 기술을 이용하여 전처리하는 전처리 모듈; 전처리 모듈을 통해 전처리된 신호에 기초하여 확률밀도 레퍼런스 테이블을 생성하는 레퍼런스 생성 모듈; 및 확률밀도 레퍼런스 테이블에 기초하여 전처리 모듈을 통해 전처리된 신호의 패턴을 인식하고 분석하여 풍력발전기의 현재 상태를 판정하는 진단 모듈을 포함한다.

[0022] 일 실시 예에서, 전처리 모듈은, 진동 신호의 시간 영역의 데이터 파형에 대해 블레이드 1회전 단위로 분할하고 이를 평균한 제1 동기 신호를 생성하는 PSA 모듈; 제1 동기 신호를 다운 샘플링하여 여러 개의 제2 동기 신호로 분할하는 다운 샘플링 모듈; 분할된 제2 동기 신호의 스펙트럼을 계산하는 연산 모듈; 제2 동기 신호의 스펙트럼을 취합하는 통합 모듈; 취합한 스펙트럼을 벡터화하는 벡터화 모듈을 포함할 수 있다.

[0023] 일 실시 예에서, 레퍼런스 생성 모듈은, 감시 대상 데이터가 출현 가능한 공간에 대하여 등간격으로 나눈 데이터 공간 격자 점을 생성하는 특징 공간 생성 모듈; 데이터 공간 격자 점 각각에 대하여 비모수 확률 분포를 추정하는 확률 밀도 추정 모듈; 및 각 데이터 공간 격자 점에 대한 비모수 확률 분포의 추정 결과를 벡터화하여 확률밀도 레퍼런스 테이블을 생성하는 레퍼런스 테이블 생성 모듈을 포함할 수 있다.

[0024] 일 실시 예에서, 진단 모듈은, 감시 대상 데이터의 각 벡터의 좌표에 대해 확률밀도 레퍼런스 테이블에서의 가장 인접한 격자 점의 확률 분포 기대값을 보간하여 근사 확률 분포를 계산하는 보간 모듈; 감시 대상 데이터의 벡터 쌍에 대해 상기 확률밀도 레퍼런스 테이블에 기초하여 계산한 근사 확률 분포를 합하여 정규화하는 정규화 모듈; 및 정규화된 데이터에서 가장 큰 소속 확률이 도출된 결과에 따라 풍력발전기의 현재 상태에 대한 소속을 판정하는 소속 판정 모듈을 포함할 수 있다. 그 경우, 소속 판정 모듈은 풍력발전기의 현재 상태를 정상 상태, 고장의심 상태, 고장 유형 및 고장 진행 경고 중 적어도 어느 하나의 상태로 판단한 것에 상응하는 모니터링 신호를 출력하도록 구현될 수 있다.

[0025] 본 발명의 다른 측면에 따른 풍력발전기 상태 모니터링 시스템은 컴퓨터에서 전술한 실시 예들의 풍력발전기 상태 모니터링 방법 중 어느 하나를 수행하기 위한 프로그램이 기록된 컴퓨터로 읽을 수 있는 매체로 구현될 수 있다.

발명의 효과

[0026] 본 발명에 의하면, 풍력 발전 설비의 상태 감시에 있어서 인공지능을 도입하여 신뢰성 있는 실시간 상태 감시 및 고장 시 고장 진단과 더불어, 고장의 진행 경고 및 고장의 유형까지도 판단해 냄으로써, 풍력 발전기에 대한 상태 진단을 자동으로 수행할 수 있는 풍력발전기 상태 모니터링 방법 및 시스템을 제공할 수 있다.

[0027] 또한, 본 발명에 의하면, 풍력발전기 특성에 의거한 전처리 기술과 패턴 인식을 이용한 진단 기술을 적용함으로써 향상된 신호처리 기술이 적용된 풍력발전기 상태 모니터링 방법 및 시스템을 제공할 수 있다.

[0028] 또한, 본 발명에 의하면, 풍력발전기 상태 모니터링 시스템의 소음, 진동, 시스템 평가 기술을 향상시킬 수 있고, 높은 신뢰성과 고장 원인을 분석하는 인공지능형 상태 감시 방법론을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0029] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 풍력발전기 상태 모니터링 시스템을 설명하기 위한 개략도이다.

도 2는 도 1의 풍력발전기 상태 모니터링 시스템의 개략적인 블록도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 풍력발전기 상태 모니터링 방법에 대한 순서도이다.

도 4는 도 3의 풍력발전기 상태 모니터링 방법에 채용 가능한 전처리 과정을 개략적으로 나타낸 순서도이다.

도 5는 도 4의 풍력발전기 상태 모니터링 방법에 채용 가능한 스펙트럼 벡터화 과정을 설명하기 위한 도면이다.

도 6은 도 3의 풍력발전기 상태 모니터링 방법에 채용 가능한 확률밀도 레퍼런스 테이블 생성 방법을 개략적으로 나타낸 순서도이다.

도 7 및 도 8은 도 6의 확률밀도 레퍼런스 테이블 생성 방법에 채용 가능한 데이터 공간 격자 점 생성 과정을 설명하기 위한 도면들이다.

도 9는 도 6의 확률밀도 레퍼런스 테이블 생성 방법에 채용 가능한 비모수 확률 분포 추정 과정을 설명하기 위한 도면이다.

도 10은 도 3의 풍력발전기 상태 모니터링 방법에 채용 가능한 감시 대상 데이터를 전처리한 신호의 패턴을 분석하는 과정을 개략적으로 나타낸 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0030] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시 예를 상세히 설명하기로 한다.

[0031] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 풍력발전기 상태 모니터링 시스템을 설명하기 위한 개략도이다.

[0032] 도 1을 참조하면, 본 실시 예에 따른 풍력발전기 상태 모니터링 시스템(30)은 네트워크(20)를 통해 풍력발전기(10)에 연결된다.

[0033] 네트워크(20)는 음성 통화를 위한 이동통신망, 영상 통화를 위한 이동통신망, IP(Internet Protocol) 또는 LTE(Long Term Evolution) 기반의 데이터 통신망, 또는 인터넷 등과 같이 통화 또는 통신 기능을 수행할 수 있는 모든 네트워크를 포함한다. 이러한 네트워크는 이동통신망이나 데이터망이나 위성망을 포함할 수 있고, 이동통신망은 예컨대 그 전송거리에 따라 BAN(Body Area Network), PAN(Personal Area Network), LAN(Local Area Network), MAN(Metropolitan Area Network), WAN(Wide Area Network) 등으로 분류될 수 있다.

[0034] 풍력발전기(10)는 자연의 바람 에너지를 기계 에너지로 변환시켜 전기를 생산하는 풍력 발전 설비를 지칭한다. 풍력발전기(10)는 회전날개(Blade), 회전축(Shaft)을 포함한 모터(Motor), 감속기(Gearbox), 토크미터(Torque Meter), 발전기(Generator) 등을 구비할 수 있다. 이러한 풍력발전기(10)는 통상 바람 에너지를 기계 에너지로 변환할 때 회전 기기를 이용하게 되므로 진동이나 소음을 발생시키게 되고, 따라서 풍력발전기(10)에서는 효율, 안전, 수명 등을 관리하기 위해 진동이나 소음을 계측하기 위한 각종 센서가 설치될 수 있다.

[0035] 본 실시 예에 있어서, 풍력발전기(10)에는 블레이드 베어링 상단부에 설치되는 제1 센서, 저속축 중앙 베어링 상단부에 설치되는 제2 센서, 감속기 저속축 베어링 축면에 설치되는 제3 센서, 감속기 고속축 베어링 축면에 설치되는 제4 센서 등이 구비될 수 있다. 제1 내지 제4 센서는 진동 센서 또는 소음 센서일 수 있다.

[0036] 풍력발전기 상태 모니터링 시스템(이하, 간략히 모니터링 시스템이라 한다)(30)은 풍력발전기(10)에 대한 신뢰성 있는 실시간 상태 감시뿐만 아니라, 풍력발전기(10)의 고장 시 고장 진단과 더불어 고장의 진행 경고 및 고장의 유형을 판단할 수 있도록 구현된다. 모니터링 시스템(30)은 풍력발전기(10) 내에 탑재될 수도 있으나, 원격지에서 풍력발전기(10)를 모니터링하도록 설치되는 것이 운용관리의 효율성, 편의성 등에서 바람직하다.

[0037] 본 실시 예에 있어서, 모니터링 시스템(30)은 풍력발전기(10)의 정상 상태와 고장 상태를 감시할 수 있는데, 본 실시 예에 적용되는 고장 유형을 실험실 차원에서 나타내면 다음의 표 1과 같다.

표 1

[0038]

유형		실험 횟수				계측 기준
		5 RPM	10 RPM	15 RPM	20 RPM	
N	정상 상태	150	150	180	150	측정 길이: 20초 샘플링 속도: 20480Hz
F1	저속 축 정렬 불량	150	150	180	150	
F2	고속 축 정렬 불량	150	150	180	150	
F3	감속기축(양방향)정렬 불량	150	150	180	150	
F4	블레이드 축 베어링 손상 (볼 손상)	150	150	180	150	
F5	블레이드 베어링, 내측 베어링 손상	150	150	180	150	
F6	내측 베어링 손상	150	150	180	150	

[0039] 표 1에서, 정렬 불량은 대부분의 기계적인 진동의 원인이 되는 것으로, 구동축(drive shaft)과 피동축(driven shaft)이 같은 중심선 상에 있지 않기 때문에 발생하는 현상을 말한다. 그리고, 베어링 불량은 베어링 자체의 결함이나 베어링과 연관되어 발생하는 부조화 현상을 말하는 것으로, 특히 베어링 불량은 회전 기기 시스템 전체의 운전에 악영향을 미칠 뿐만 아니라 시스템의 운전 정지에 따른 엄청난 경제적 손실을 초래할 수 있으므로 풍력 발전 설비에서는 특별하게 관리되고 있다.

[0040] 도 2는 도 1의 풍력발전기 상태 모니터링 시스템의 개략적인 블록도이다.

[0041] 도 2를 참조하면, 본 실시 예에 따른 모니터링 시스템(30)은 통신 인터페이스(31), 전처리 모듈(32), 레퍼런스 생성 모듈(33) 및 진단 모듈(34)을 구비한다. 모니터링 시스템(30)은 통신 인터페이스(31), 전처리 모듈(32), 레퍼런스 생성 모듈(33) 및 진단 모듈(34)을 구비하는 서버(메인 서버 등)로 구현되고, 디지털 신호 처리가 가능한 적어도 하나의 컴퓨터나 이러한 컴퓨터에서 풍력발전기 상태 모니터링 방법을 수행하기 위한 프로그램이

기록된 컴퓨터로 읽을 수 있는 매체(기록매체 등)에 탑재될 수 있다.

[0042] 통신 인터페이스(31)는 네트워크를 통해 풍력발전기에 연결되며, 풍력발전기에 설치된 각종 센서로부터 풍력발전기의 소음을 계측한 소음 신호 및 진동을 계측한 진동 신호 중 적어도 어느 하나의 신호를 수신한다. 수신된 신호는 데이터베이스(35)에 저장될 수 있다. 통신 인터페이스(31)는 네트워크를 통해 풍력발전기의 센서와 직접 또는 간접으로 신호를 송수신하기 위한 수단이나 이러한 수단에 상응하는 기능을 수행하는 구성부로 구현된다.

[0043] 전처리 모듈(32)은 통신 인터페이스(31)를 통해 수신된 소음 신호 또는 진동 신호를 디지털신호처리 기술을 이용하여 전처리한다. 전처리 모듈(32)은 센서에서 계측된 데이터를 진단에 용이한 형태로 변환하기 위한 것으로, RSA(Revolution Synchronous Averaging) 방법, 주파수 분석 방법, 캡스트럼 분석(Cepstrum Analysis) 방법 등이 이용될 수 있다. 예를 들면, 전처리 모듈(32)은, 진동 신호의 시간 영역의 데이터 파형에 대해 블레이드 1회전 단위로 분할하고 이를 평균한 제1 동기 신호를 생성하고, 제1 동기 신호를 다운 샘플링하여 여러 개의 제2 동기 신호로 분할하고, 분할된 제2 동기 신호의 스펙트럼을 계산하여 취합하고, 취합한 스펙트럼을 벡터화하도록 구현될 수 있다.

[0044] 레퍼런스 생성 모듈(33)은 진단 모듈(34)에서 감시 대상 데이터의 용이한 진단에 필요한 기준 데이터 또는 참조 데이터를 제공하기 위한 것으로, 전처리 모듈(32)를 통해 전처리된 레퍼런스 데이터를 토대로 확률밀도 레퍼런스 테이블을 생성한다. 레퍼런스 생성 모듈(33)에서 생성된 확률밀도 레퍼런스 테이블은 데이터베이스(35)나 소정의 저장부에 저장될 수 있다. 본 실시 예에서, 레퍼런스 생성 모듈(33)은 감시 대상 데이터가 출현 가능한 공간에 대하여 등간격으로 나눈 데이터 공간 격자 점을 생성하고, 데이터 공간 격자 점 각각에 대하여 비모수 확률 분포를 추정하고, 각 데이터 공간 격자 점에 대한 비모수 확률 분포의 추정 결과를 벡터화하여 확률밀도 레퍼런스 테이블을 생성하도록 구현될 수 있다.

[0045] 진단 모듈(34)은 레퍼런스 생성 모듈(33)에서의 확률밀도 레퍼런스 테이블에 기초하여 전처리 모듈(32)에서 전처리된 신호(감시 대상 데이터를 전처리한 신호)의 패턴을 인식하고 분석하여 풍력발전기의 현재 상태를 판정한다. 본 실시 예에서, 진단 모듈(34)은 감시 대상 데이터의 벡터 쌍에 대해 확률밀도 레퍼런스 테이블에 기초하여 계산한 근사 확률 분포를 합하여 정규화하고, 정규화된 데이터에서 가장 큰 소속 확률이 도출된 결과에 따라 풍력발전기의 현재 상태에 대한 소속을 판정하도록 구현될 수 있다. 여기서, 풍력발전기의 상태는 정상 상태, 고장의심 상태, 고장 상태, 고장 유형, 고장 진행 경고 중 어느 하나에 소속될 수 있고, 이러한 소속 정보는 데이터베이스(35)에 저장될 수 있다.

[0046] 도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 풍력발전기 상태 모니터링 방법에 대한 순서도이다.

[0047] 도 3을 참조하면, 우선 모니터링 시스템은 풍력발전기로부터 진동 신호를 수신한다(S31). 여기서, 진동 신호는 설명의 편의상 간단히 표현한 것으로, 진동을 진단하는데 이용 가능한 신호로서 소음 신호나, 소음 신호와 진동 신호를 포함한 신호 등으로 대체 가능하다.

[0048] 다음, 풍력발전기로부터 수신한 진동 신호를 전처리한다(S32). 본 단계에서는 진동 신호를 진단에 용이한 형태로 변환하기 위한 것으로, 감시 대상 데이터를 전처리하는 과정에 대응할 뿐만 아니라 감시 대상 데이터의 진단에 필요한 레퍼런스 데이터를 전처리하는 과정에도 대응될 수 있다. 본 실시 예에서, 확률밀도 레퍼런스 테이블을 생성하기 위한 과정 중에서 레퍼런스 데이터를 전처리하는 과정과 풍력발전기의 현재 상태를 판정하기 위한 과정 중에서 감시 대상 데이터를 전처리하는 가정은 실질적으로 동일하다.

[0049] 다음, 전처리된 신호 즉, 풍력발전기의 진동 신호의 하나인 레퍼런스 데이터를 전처리한 신호에 기초하여 확률밀도 레퍼런스 테이블을 생성한다(S33). 확률밀도 레퍼런스 테이블은 풍력발전기의 진동 신호의 하나인 감시 대상 데이터를 분석할 때 이용하기 위한 것으로, 그 구체적인 생성 과정은 아래에서 상세히 설명될 것이다.

[0050] 다음, 확률밀도 레퍼런스 테이블에 기초하여 전처리된 신호(즉, 감시 대상 데이터를 전처리한 신호)의 패턴을 분석한다(S34). 감시 대상 데이터를 전처리한 신호의 패턴을 분석하는 과정은 아래에서 상세히 설명될 것이다.

[0051] 다음, 전처리한 신호의 패턴 분석 결과에 따라 풍력발전기의 현재 상태를 판정한다(S35). 본 단계(S35)는 감시 대상 데이터의 벡터 쌍에 대해 계산한 근사 확률 분포를 합하여 정규화하고, 정규화된 데이터에서 가장 큰 소속 확률이 도출된 결과에 따라 소속을 판정하도록 구현될 수 있다.

[0052] 풍력발전기의 현재 상태에 대한 판정은 정상 상태, 고장의심 상태, 고장 유형 및 고장 진행 경고 중 어느 하나에 소속될 수 있다. 고장 유형 또는 고장 진행 경고는 불량상태1, 불량상태2, 불량상태3 등으로 표현되거나 표1에 나타낸 바와 같이 정상 상태(N), 저속축 정렬 불량(F1), 고속축 정렬 불량(F2), 감속기어 정렬 불량(F3),

블레이드 축 베어링 손상(F4), 블레이드 베어링 또는 내측 베어링 손상(F5), 내측 베어링 손상(F6) 등으로 표현될 수 있다.

[0053] 도 4는 도 3의 풍력발전기 상태 모니터링 방법에 채용 가능한 전처리 과정을 개략적으로 나타낸 순서도이다.

[0054] 도 4를 참조하면, 본 실시 예에 따른 전처리 과정은 RSA(Revolution Synchronous Averaging) 처리, 다운 샘플링, 분할된 각 신호의 스펙트럼 계산, 스펙트럼 계산된 각 신호의 스펙트럼 취합 및 취합된 스펙트럼 벡터화의 단계들(S321 내지 S325)을 구비한다.

[0055] RSA 처리 단계(S321)는 측정된 시간 영역의 신호에서 타코메타(Tachometer) 신호를 참조하여 블레이드 또는 기어 등의 1회전 성분의 시간 간격으로 잘게 나누어 추출한 후 시간 동기화를 통한 평균 신호를 구하는 방법이다. RSA 방법을 통해 신호를 전처리하면 랜덤노이즈 성분이 줄어들고 신호 본래의 피크 성분이 뚜렷해지기 때문에 진단에 있어 더욱 명확한 판단이 가능해 진다.

[0056] 다운 샘플링 단계(S322)는 블레이드의 회전 속도가 대부분 저속이므로 저대역의 주파수 대역에서의 분해능을 높이기 위해 실시된다. 본 실시 예에 있어서, 다운 샘플링 단계(S322)는 RSA 신호에 대한 다운 샘플링을 실시하여 RSA 신호를 여러 개로 나누는 과정을 포함한다.

[0057] 분할된 각 신호의 스펙트럼 계산 단계(S323)는 다운 샘플링 과정을 통해 분할된 신호를 파워 스펙트럼을 통해 주파수 영역에서의 주기성을 파악하기 위한 과정이다. 파워 스펙트럼으로는 하나의 신호에 대한 오토 파워스펙트럼(Auto Powerspectrum)과 두 개의 신호 사이의 크로스 파워 스펙트럼(Cross Powerspectrum)의 두 가지를 이용할 수 있다. 파워 스펙트럼의 유도 방법으로는 시간 데이터의 이산 푸리에 변환(Discrete Fourier Transform, DFT)을 이용한 방법과 시간 데이터의 상관 함수(Correlation Function)를 이용할 수 있는데, 그 중에 고속으로 간편하게 스펙트럼을 구할 수 있는 이산 푸리에 변환 방법을 이용하는 것이 바람직하다.

[0058] 스펙트럼 계산된 각 신호의 스펙트럼 취합 단계(S324)는 다운 샘플링 과정을 통해 분할된 신호의 스펙트럼을 하나의 스펙트럼으로 취합하기 위한 과정이다.

[0059] 취합된 스펙트럼 벡터화 단계(S325)는 인지 과학(Cognitive Science)과 인공지능(Artificial Intelligence) 분야에 속하는 패턴 인식을 통해 풍력발전기의 진동 신호를 진단하기 위해 신호를 전처리하는 과정에 대응된다. 이러한 스펙트럼 벡터화 과정은 아래에서 상세히 설명될 것이다.

[0060] 본 실시 예에 따른 모니터링 방법은 도 2의 전처리 모듈(32)에 구비되는 PSA 모듈, 다운 샘플링 모듈, 연산 모듈, 통합 모듈 및 벡터화 모듈이 전술한 일련의 전처리 과정(S321 내지 S325)을 기재된 순서대로 각각 수행하도록 구현될 수 있다.

[0061] 도 5는 도 4의 풍력발전기 상태 모니터링 방법에 채용 가능한 스펙트럼 벡터화 과정을 설명하기 위한 도면이다.

[0062] 도 5를 참조하면, 본 실시 예에 따른 스펙트럼 벡터화는 감시 대상 데이터의 각 벡터가 확률밀도 레퍼런스 테이블로 정의된 공간의 어느 부분에 집중되어 있는지를 파악하기 위한 것이다.

[0063] 스펙트럼 벡터화는 각 센서(S1, S2, S3, S4) 및 주파수(Hz)에 따라 스펙트럼을 벡터화(1차 벡터화)하고, 1차 벡터화한 것들을 하나의 테이블(V1)로 재배열하여 확률밀도 레퍼런스 테이블을 생성하는 것을 포함할 수 있다. 여기서, 스펙트럼 벡터화(1차 벡터화)는 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5Hz 등의 특정 주파수에 대한 소정 크기의 스펙트럼 계수(A1, A2, A3, A4)로 표현될 수 있고, 테이블(V1)의 동일 행에는 각 센서의 동일 주파수의 스펙트럼 계수가 배열될 수 있다.

[0064] 도 6은 도 3의 풍력발전기 상태 모니터링 방법에 채용 가능한 확률밀도 레퍼런스 테이블 생성 방법을 개략적으로 나타낸 순서도이다. 도 7 및 도 8은 도 6의 확률밀도 레퍼런스 테이블 생성 방법에 채용 가능한 데이터 공간 격자 점 생성 과정을 설명하기 위한 도면들이다. 도 9는 도 6의 확률밀도 레퍼런스 테이블 생성 방법에 채용 가능한 비모수 확률 분포 추정 과정을 설명하기 위한 도면이다.

[0065] 도 6을 참조하면, 본 실시 예에 따른 확률밀도 레퍼런스 테이블 생성 방법은, 데이터 공간 격자 점 생성, 비모수 확률 분포 추정, 및 비모수 확률 분포 추정 결과의 벡터화 단계들(S331, S332, S333)을 구비한다.

[0066] 데이터 공간 격자 점 생성 단계(S331)는 비 모수적 밀도 추정 방법의 단점을 보완하기 위해 적용된 것이다. 본 실시 예에서는, 도 7 및 도 8에 도시한 바와 같이, 각각의 차원(1차원, 2차원 등)에 대하여 데이터의 출현 범위를 등간격으로 잘게 나누어 격자를 만들어 이용한다. 만들어진 격자는 도 7에서와 같이 1차원 특징 공간(W1)을 형성하거나 도 8에 도시한 바와 같이 2차원 특징 공간(W2)을 정의한다.

[0067] 본 단계(S331)에 의하면 이후의 비 모수 확률 분포 추정 과정에서 작은 저장공간을 이용할 수 있고 계산시간을 단축하는 효과가 있다. 즉, 본 단계(S331)를 이용하지 않으면, 이후의 비 모수 확률 분포 추정 과정에서 레퍼런스 데이터가 많아짐에 따라 수많은 레퍼런스 데이터의 저장에 필요한 매우 큰 저장공간을 필요로 하게 되고, 계산시간이 많이 소요되는 단점을 가질 수 있다.

[0068] 다음으로, 비모수 확률 분포 추정 단계(S332)에서는 전술한 단계(S331)에서 생성된 격자의 모서리에 해당하는 모든 점에 대해 비 모수적 확률 밀도 추정을 실시한다. 비모수 확률 밀도 추정은 패턴 인식을 통해 감시 대상 데이터의 벡터를 분석하기 위한 것이다.

[0069] 패턴 인식의 접근법 중 하나인 통계적 접근법을 이용하면, 패턴들의 통계적 모델은 해당 클래스에서의 확률 밀도 함수가 되며, 베이즈(Bayes)의 결정 규칙을 이용하여 분류하여 인식할 수 있다. 통계적 접근법으로는 모수를 이용해 확률분포를 추정하는 베이지안 분류기(Bayesian Classifier) 등을 이용할 수 있다. 본 실시 예에서는 시간 영역 신호를 이산 푸리에 변환하여 주파수 영역으로 변환한 스펙트럼의 경우 정규 분포를 따르지 않아 모수의 추정이 힘들므로 파젠 윈도우 기반 분류기(Parzen Windows Based Classifier)를 이용하여 비모수적 확률 분포를 추정한다.

[0070] 파젠 분류기는 도 9에 도시한 바와 같이 임의의 점(x)에서 확률 값을 추정하기 위해 큐브 모양의 추출 공간(W3)에 대해 추출된 레퍼런스의 샘플의 개수를 활용하여 확률을 추정한다. 만약, 추출 공간(W3)의 각 변의 길이가 h, 데이터의 차원이 d, 파젠 윈도우(Parzen window) 내부의 레퍼런스 데이터 개수 k라 하면, 임의의 점 x에서의 확률 p(x)는 다음의 수학식 1과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 1

[0071]
$$p(x)=\frac{k}{h^{d}N}$$

[0072] 다음, 비모수 확률 분포 추정 결과의 벡터화 단계(S333)에서는 비 모수적 확률 밀도 추정 과정에 의해 추정된 결과를 각 격자의 모서리에 존재하는 점의 좌표와 함께 벡터화하여 레퍼런스 확률 분포 테이블 또는 확률밀도 레퍼런스 테이블을 생성한다.

[0073] 본 실시 예에 따른 모니터링 방법은 도 2의 레퍼런스 생성 모듈(33)에 구비되는 특징 공간 생성 모듈, 확률 밀도 추정 모듈 및 레퍼런스 테이블 생성 모듈이 전술한 일련의 확률밀도 레퍼런스 생성 과정(S331 내지 S333)을 기재된 순서대로 각각 수행하도록 구현될 수 있다.

[0074] 도 10은 도 3의 풍력발전기 상태 모니터링 방법에 채용 가능한 감시 대상 데이터를 전처리한 신호의 패턴을 분석하는 과정을 개략적으로 나타낸 순서도이다.

[0075] 도 10을 참조하면, 본 실시 예에 따른 감시 대상 데이터를 전처리한 신호의 패턴 분석은 보간, 근사 확률 분포 계산 및 정규화 단계들(S341, S342, S343)을 구비한다.

[0076] 보간 단계(S341)에서는 진단의 대상이 되는 데이터(감시 대상 데이터)의 좌표(예컨대, 벡터 좌표)에 대해 인접한 격자 점의 확률 밀도 값을 보간(Interpolation) 하여 확률 밀도를 계산한다. 보간 방법으로는 다해상도 보간(Multi-dimension Interpolation) 또는 최단입점 보간(Nearest Neighbor Interpolation)이 이용될 수 있는데, 본 실시 예에서는, 충분히 작은 격자 점에 의해 계산 시간을 단축하고 간편한 알고리즘을 적용할 수 있는 최단입점 보간을 이용하여 감시 대상 데이터의 각 벡터에 대해 소속 확률 추정한다.

[0077] 각 벡터에 대해 소속 확률을 추정하는 것은 각 벡터에 대해 근사 확률 분포를 계산하는 것에 대응한다. 즉, 근사 확률 분포 계산 단계(S342)는 감시 대상 데이터의 모든 벡터 쌍에 대해 전술한 보간 단계를 통해 근사 확률 분포를 계산하는 것을 지칭한다.

[0078] 정규화 단계(S343)에서는 앞서 계산된 근사 확률 분포를 모두 합해 정규화(Normalization)한다. 정규화에 의해 데이터의 중복성을 제거하고 가장 큰 소속 확률이 도출된 결과에 대해 소속을 판정함으로써 풍력발전기의 현재 상태를 진단한다. 풍력발전기의 현재 상태는 확률밀도 레퍼런스 테이블의 확률 분포에 상응하여 미리 지정된 정상 상태, 고장의심 상태, 고장 유형 및 고장 진행 경고 중 어느 하나의 상태에 해당할 수 있다.

[0079] 본 실시 예에 따른 모니터링 방법은 도 2의 진단 모듈(34)에 구비되는 보간 모듈 및/또는 근사 확률 분포 계산 모듈과 정규화 모듈이 전술한 일련의 진단 과정(S341 내지 S343)을 수행하도록 구현될 수 있다. 여기서, 진단 모듈은 소속의 단정을 위해 소속 판정 모듈을 더 구비할 수 있다. 그 경우, 소속 판정 모듈은 풍력발전기의 현재 상태를 정상 상태, 고장의심 상태, 고장 유형 및 고장 진행 경고 중 적어도 어느 하나의 상태로 판단한 것에 상응하는 모니터링 신호를 출력할 수 있다.

[0080] 한편, 전술한 풍력발전기 상태 모니터링 방법을 구현하는 풍력발전기 상태 모니터링 시스템은 다양한 컴퓨터로 구현되는 동작을 수행하기 위한 프로그램 명령을 포함하는 컴퓨터로 읽을 수 있는 매체로 구현될 수 있다. 이 매체는 앞서 설명한 모니터링 방법을 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 것이 된다. 그리고, 이 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 구비할 수 있다. 또한, 매체는 하드디스크, 플로피디스크, 자기 테이프 등의 자기 매체와, CD, DVD 등의 광기록 매체와, 자기-광 매체와, 기타 롬, 램, 플래시 메모리 등의 프로그램 명령을 저장하도록 구성된 하드웨어 장치로 구현될 수 있다. 아울러, 매체는 프로그램 명령, 데이터 구조 등을 지정하는 신호를 전송하는 광파이버, 금속선, 도파관 등의 전송 매체일 수 있다. 프로그램 명령은 컴파일러에 의해 생성되는 것과 같은 기계어 코드, 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해 실행될 수 있는 고급 언어 코드 등을 포함한다.

[0081] 전술한 본 발명의 설명은 예시를 위한 것이며, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시 예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

부호의 설명

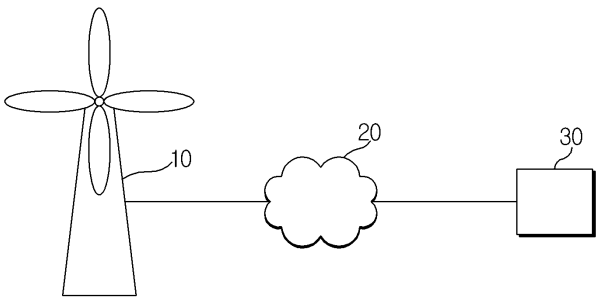
[0082] 10: 풍력발전기

20: 네트워크

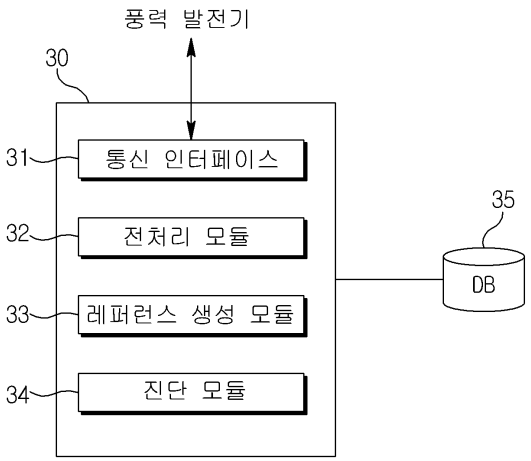
30: 풍력발전기 상태 모니터링 시스템

도면

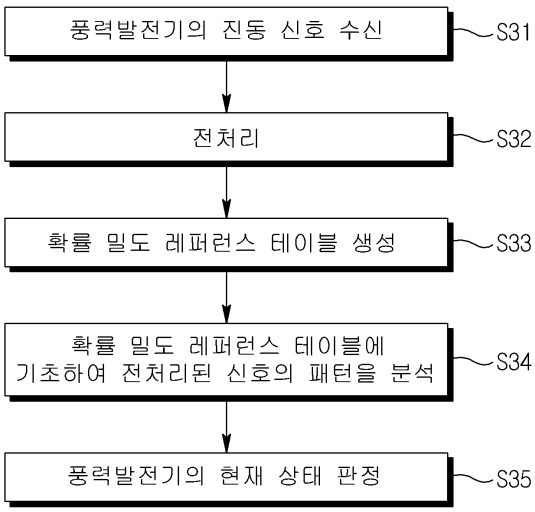
도면1



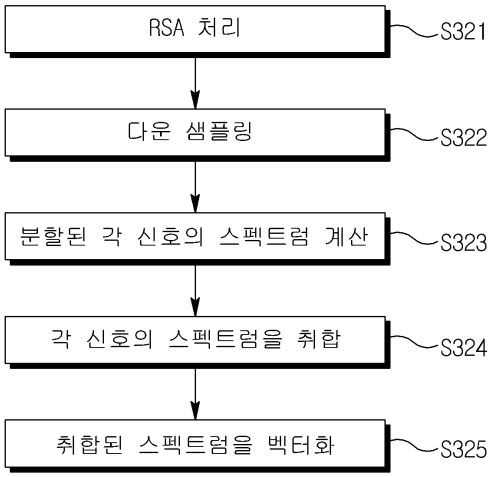
도면2


풍력 발전기
30
31
통신 인터페이스
32
전처리 모듈
33
레퍼런스 생성 모듈
34
진단 모듈
35
DB

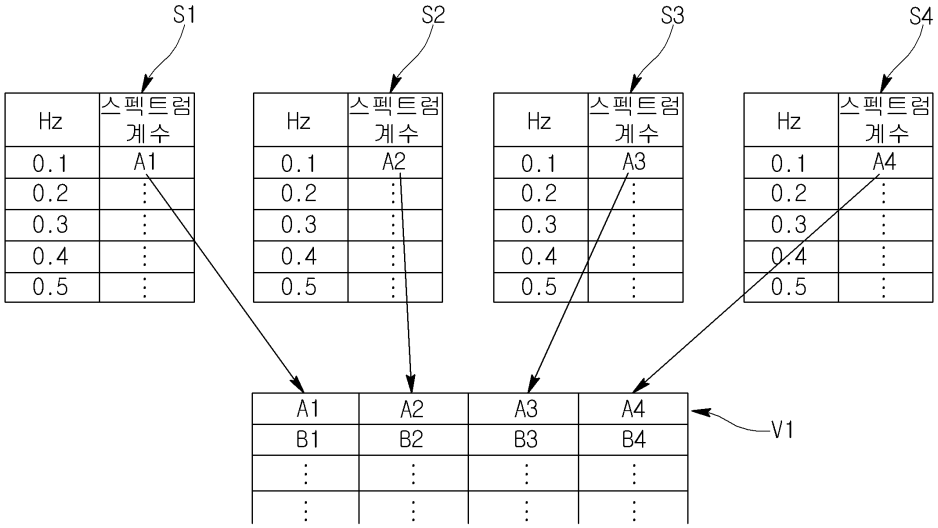
도면3


풍력발전기의 진동 신호 수신
S31
전처리
S32
확률 밀도 레퍼런스 테이블 생성
S33
확률 밀도 레퍼런스 테이블에
기초하여 전처리된 신호의 패턴을 분석
S34
풍력발전기의 현재 상태 판정
S35

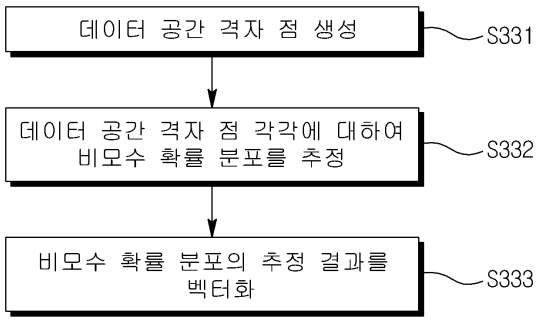
도면4


RSA 처리
S321
다운 샘플링
S322
분할된 각 신호의 스펙트럼 계산
S323
각 신호의 스펙트럼을 취합
S324
취합된 스펙트럼을 벡터화
S325

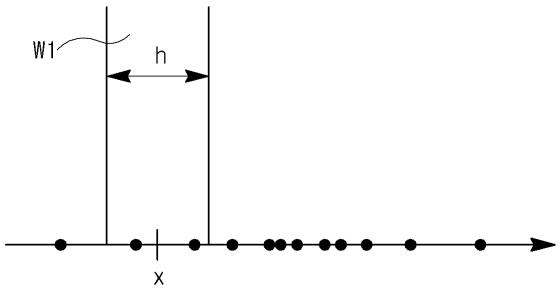
도면5


S1
S2
S3
S4
Hz
스펙트럼 계수
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
A1
A2
A3
A4
B1
B2
B3
B4
V1

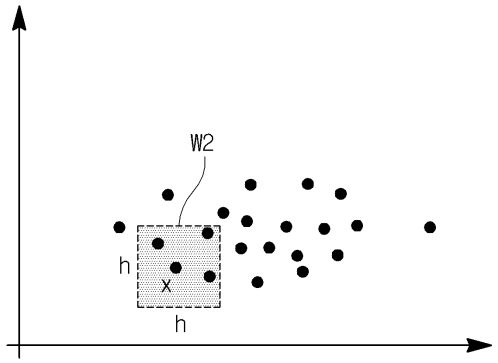
도면6


데이터 공간 격자 점 생성
S331
데이터 공간 격자 점 각각에 대하여 비모수 확률 분포를 추정
S332
비모수 확률 분포의 추정 결과를 벡터화
S333

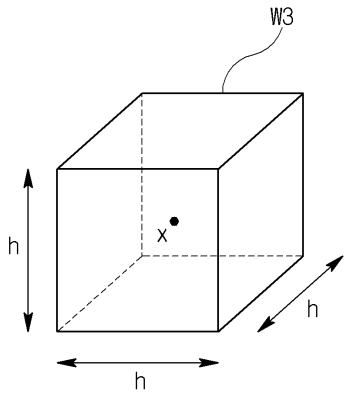
도면7


W1
h
x

도면8



도면9



도면10

