(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0067292
(43) 공개일자 2017년06월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B23Q 17/09 (2006.01) *G06F 17/00* (2006.01)
G06F 3/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B23Q 17/09 (2013.01)
G06F 17/00 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0173786
(22) 출원일자 2015년12월08일
심사청구일자 2015년12월08일

(71) 출원인
한양대학교 산학협력단
서울특별시 성동구 왕십리로 222(행당동, 한양대학교내)
(72) 발명자
유홍희
서울특별시 송파구 올림픽로4길 42, 27동 806호(잠실동, 우성아파트)
고정민
서울특별시 동대문구 왕산로 294-1, 301호 (전농동)
홍정렬
서울특별시 성동구 마조로12길 7, 102호 (마장동)
(74) 대리인
홍성욱, 심경식

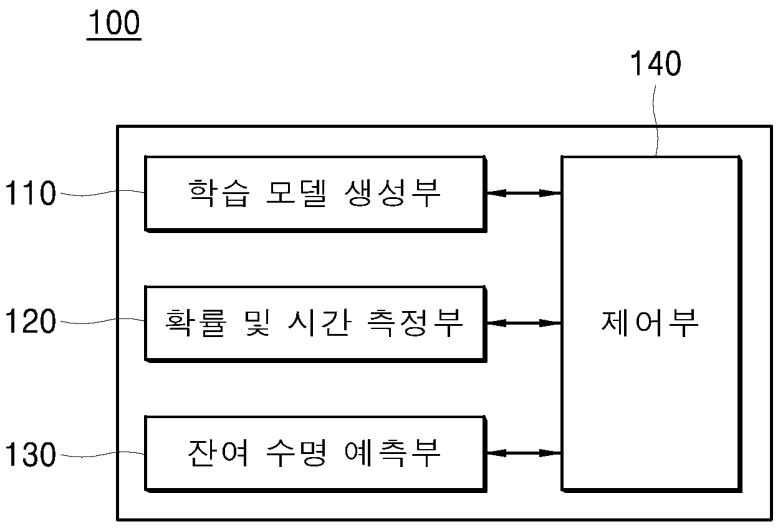
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 **기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치 및 방법**

(57) 요 약

본 발명의 일 실시예에 따른 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치는 기계 시스템에 크리티컬(Critical)한 결함이 발생했을 때 나오는 신호를 학습하여 패턴 인식 모델을 생성하는 학습 모델 생성부; 상기 패턴 인식 모델에 기초하여 상기 기계 시스템이 정상 상태일 때의 확률 값과 최초로 결함이 발생한 상태를 나타내는 제1 결함 상태일 때의 확률 값을 측정하고, 상기 정상 상태에서 상기 제1 결함 상태까지의 제1 시간을 측정하는 확률 및 시간 측정부; 및 상기 정상 상태일 때의 확률 값과 상기 제1 결함 상태일 때의 확률 값 및 상기 측정된 제1 시간에 기초하여 보간(interpolation)을 수행함으로써 상기 기계 시스템의 잔여 수명 값을 예측하는 잔여 수명 예측부를 포함한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G06F 3/00 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 20141510101740
부처명 산업통상자원부
연구관리전문기관 한국원자력연구원
연구사업명 산업기술혁신사업 / 에너지기술개발사업 / 원자력융합원천기술개발사업(RCMS)
연구과제명 원전기기 진단신뢰도 향상 및 표준형 통합 상태기반정비 기술개발
기 여 율 1/1
주관기관 한양대학교 산학협력단
연구기간 2014.07.01 ~ 2015.06.30

명 세 서

청구범위

청구항 1

기계 시스템에 크리티컬(Critical)한 결함이 발생했을 때 나오는 신호를 학습하여 패턴 인식 모델을 생성하는 학습 모델 생성부;

상기 패턴 인식 모델에 기초하여 상기 기계 시스템이 정상 상태일 때의 확률 값과 최초로 결함이 발생한 상태를 나타내는 제1 결함 상태일 때의 확률 값을 측정하고, 상기 정상 상태에서 상기 제1 결함 상태까지의 제1 시간을 측정하는 확률 및 시간 측정부; 및

상기 정상 상태일 때의 확률 값과 상기 제1 결함 상태일 때의 확률 값 및 상기 측정된 제1 시간에 기초하여 보간(interpolation)을 수행함으로써 상기 기계 시스템의 잔여 수명 값을 예측하는 잔여 수명 예측부

를 포함하는 것을 특징으로 하는 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 패턴 인식 모델은

은닉 마르코프 모델(HMM)인 것을 특징으로 하는 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 학습 모델 생성부는

상기 기계 시스템의 출력 신호를 푸리에 변환하여 특징벡터를 추출하고, 상기 추출된 특징벡터를 바움-웰치 알고리즘(Baum-Welch algorithm)에 적용하여 상기 은닉 마르코프 모델을 생성하는 것을 특징으로 하는 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 학습 모델 생성부는

고속 푸리에 변환을 통해 상기 출력 신호로부터 복수의 고유진동수에서의 피크 값들을 상기 특징벡터로서 추출하거나,

상기 피크 값들 간의 거리 값을 상기 특징벡터로서 추출하는 것을 특징으로 하는 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 학습 모델 생성부는

변위 센서 및 가속도 센서를 포함하는 진동 센서를 이용하여 상기 기계 시스템의 진동 신호를 상기 출력 신호로

서 획득하는 것을 특징으로 하는 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 잔여 수명 예측부는

상기 정상 상태일 때의 확률 값과 상기 제1 결함 상태일 때의 확률 값을 비교하여 제1 확률 차이 값을 계산하고, 상기 제1 확률 차이 값에 기초하여 상기 제1 시간에 대한 보간을 수행함으로써 상기 기계 시스템의 잔여 수명 값을 예측하는 것을 특징으로 하는 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 확률 및 시간 측정부는

칼만 필터를 이용하여 상기 제1 결함 상태 이후에 발생한 제2 결함 상태일 때의 확률 값, 및 상기 제1 결함 상태에서 상기 제2 결함 상태까지의 제2 시간을 측정하고,

상기 잔여 수명 예측부는

상기 제2 결함 상태일 때의 확률 값을 상기 제1 결함 상태일 때의 확률 값과 비교하여 제2 확률 차이 값을 계산하고, 상기 제2 확률 차이 값에 더 기초하여, 상기 제2 시간에 대한 보간(interpolation)을 더 수행함으로써 상기 기계 시스템의 잔여 수명 값을 예측하는 것을 특징으로 하는 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치.

청구항 8

기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치에서, 상기 기계 시스템에 크리티컬(Critical)한 결함이 발생했을 때 나오는 신호를 학습하여 패턴 인식 모델을 생성하는 단계;

상기 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치에서, 상기 패턴 인식 모델에 기초하여 상기 기계 시스템이 정상 상태일 때의 확률 값과 최초로 결함이 발생한 상태를 나타내는 제1 결함 상태일 때의 확률 값을 측정하는 단계;

상기 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치에서, 상기 정상 상태에서 상기 제1 결함 상태까지의 제1 시간을 측정하는 단계; 및

상기 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치에서, 상기 정상 상태일 때의 확률 값과 상기 제1 결함 상태일 때의 확률 값 및 상기 측정된 제1 시간에 기초하여 보간(interpolation)을 수행함으로써 상기 기계 시스템의 잔여 수명 값을 예측하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 기계 시스템의 잔여 수명 예측 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 패턴 인식 모델은

은닉 마르코프 모델(HMM)인 것을 특징으로 하는 기계 시스템의 잔여 수명 예측 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 패턴 인식 모델을 생성하는 단계는

상기 기계 시스템의 출력 신호를 푸리에 변환하여 특징벡터를 추출하는 단계; 및

상기 추출된 특징벡터를 바움-웰치 알고리즘(Baum-Welch algorithm)에 적용하여 상기 은닉 마르코프 모델을 생성하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 기계 시스템의 잔여 수명 예측 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 특징벡터를 추출하는 단계는

고속 푸리에 변환을 통해 상기 출력 신호로부터 복수의 고유진동수에서의 피크 값들을 상기 특징벡터로서 추출하는 단계; 또는

상기 피크 값들 간의 거리 값을 상기 특징벡터로서 추출하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 기계 시스템의 잔여 수명 예측 방법.

청구항 12

제10항에 있어서,

상기 패턴 인식 모델을 생성하는 단계는

변위 센서 및 가속도 센서를 포함하는 진동 센서를 이용하여 상기 기계 시스템의 진동 신호를 상기 출력 신호로서 획득하는 단계

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 기계 시스템의 잔여 수명 예측 방법.

청구항 13

제8항에 있어서,

상기 기계 시스템의 잔여 수명 값을 예측하는 단계는

상기 정상 상태일 때의 확률 값과 상기 제1 결함 상태일 때의 확률 값을 비교하여 제1 확률 차이 값을 계산하는 단계; 및

상기 제1 확률 차이 값에 기초하여 상기 제1 시간에 대한 보간을 수행함으로써 상기 기계 시스템의 잔여 수명 값을 예측하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 기계 시스템의 잔여 수명 예측 방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치에서, 칼만 필터를 이용하여 상기 제1 결함 상태 이후에 발생한 제2 결함 상태일 때의 확률 값, 및 상기 제1 결함 상태에서 상기 제2 결함 상태까지의 제2 시간을 측정하는 단계

를 더 포함하고,

상기 기계 시스템의 잔여 수명 값을 예측하는 단계는

상기 제2 결함 상태일 때의 확률 값을 상기 제1 결함 상태일 때의 확률 값과 비교하여 제2 확률 차이 값을 계산

하는 단계; 및

상기 제2 확률 차이 값에 더 기초하여, 상기 제2 시간에 대한 보간(interpolation)을 더 수행함으로써 상기 기계 시스템의 잔여 수명 값을 예측하는 단계

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 기계 시스템의 잔여 수명 예측 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명의 실시예들은 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치 및 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 은닉 마르코프 모델(HMM)과 칼만 필터(Kalman filter)를 이용한 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 일반적으로 항공, 선박, 차량, 교량 및 고층건물 등의 구조물은 적절한 검사와 유지보수가 필요하여 완전 상태 및 건전성을 주기적으로 감지해 주어야 한다. 구조물의 결함을 감지하는 방법으로 구조물에 전류, 초음파 등의 진단신호를 인가하거나 각종 센서를 설치하여 측정되는 정상신호와 진단신호를 비교하여 구조물의 결함을 감지하는 비파괴 시험 방법이 주로 사용된다.

[0004] 선행기술문헌들의 예로 등록특허 제10-1040926호가 개시되어 있다. 이 등록특허는 기계의 결함 진단방법에 관한 것으로, 정상 상태와 실제 진단시의 진단신호를 측정하고 은닉 마르코프 모델(Hidden Markov Model, HMM) 알고리즘을 사용하여 이를 분석하여 실제 기계의 결함이 발생되는 구간을 정확하게 감지하는 것이다.

[0005] 그러나, 이 종래기술은 은닉 마르코프 모델(HMM)만 이용하여 기계의 결함을 진단하기 때문에 진단의 정확도가 현저하게 저하되는 문제점이 있다. 따라서, 기계의 결함을 정확하게 진단하지 못하여 작동 중인 기계를 중단시킬 뿐만 아니라 기계 근처에서 작업하는 작업자의 인명 사고가 발생되는 문제점도 있다.

[0006] 또한, 기계 시스템의 결함을 진단하기 위한 방법으로 패턴인식 기법이 널리 사용되고 있다. 패턴인식 기법은 진동신호의 변화를 감지하여 기계시스템의 건전성을 판단하는 방법이다. 대표적인 패턴인식 기법으로 최근 은닉 마르코프 모델(Hidden Markov Model)과 인공신경망(Artificial Neural Network)이 여러 분야에서 사용되고 있다.

[0007] 은닉 마르코프 모델과 인공신경망 모델 구축 시 특징 벡터 추출이 필요한데, 이 특징 벡터 추출 시 사용되는 기계 구조물의 출력 신호(가속도, 변위 값 등)에는 외부 잡음이 섞일 수 있다. 출력 신호에 외부 잡음이 섞일 경우 결함 발생 위치 및 크기에 따른 출력 신호들이 갖는 차이가 뚜렷하지 않게 되어 결함 진단에 어려움이 생긴다.

[0008] 또한, 기존의 연구에서는 단순히 기계 시스템의 현재 상태만을 진단하였지만, 여기서 더 나아가 현재 상태에서 앞으로 잔여 수명이 얼마나 남았는지를 예측할 수 있는 기술의 개발에 대한 필요성이 대두되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명의 일 실시예는 은닉 마르코프 모델(HMM)과 칼만 필터(Kalman filter)를 이용하여 모든 기계 시스템에서 작동을 멈추지 않고서도 작동 중인 신호만으로 기계 시스템의 상태를 진단할 수 있으며, 이를 통해 잔여 수명이 얼마나 되는지를 예측할 수 있는 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치 및 방법을 제공한다.

[0012] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제(들)로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제(들)은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0014] 본 발명의 일 실시예에 따른 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치는 기계 시스템에 크리티컬(Critical)한 결함이 발생했을 때 나오는 신호를 학습하여 패턴 인식 모델을 생성하는 학습 모델 생성부; 상기 패턴 인식 모델에 기초하여 상기 기계 시스템이 정상 상태일 때의 확률 값과 최초로 결함이 발생한 상태를 나타내는 제1 결함 상태일 때의 확률 값을 측정하고, 상기 정상 상태에서 상기 제1 결함 상태까지의 제1 시간을 측정하는 확률 및 시간 측정부; 및 상기 정상 상태일 때의 확률 값과 상기 제1 결함 상태일 때의 확률 값 및 상기 측정된 제1 시간에 기초하여 보간(interpolation)을 수행함으로써 상기 기계 시스템의 잔여 수명 값을 예측하는 잔여 수명 예측부를 포함한다.

[0015] 상기 패턴 인식 모델은 은닉 마르코프 모델(HMM)인 것이 바람직하다.

[0016] 상기 학습 모델 생성부는 상기 기계 시스템의 출력 신호를 푸리에 변환하여 특징벡터를 추출하고, 상기 추출된 특징벡터를 바움-웰치 알고리즘(Baum-Welch algorithm)에 적용하여 상기 은닉 마르코프 모델을 생성할 수 있다.

[0017] 상기 학습 모델 생성부는 고속 푸리에 변환을 통해 상기 출력 신호로부터 복수의 고유진동수에서의 피크 값들을 상기 특징벡터로서 추출하거나, 상기 피크 값들 간의 거리 값을 상기 특징벡터로서 추출할 수 있다.

[0018] 상기 학습 모델 생성부는 변위 센서 및 가속도 센서를 포함하는 진동 센서를 이용하여 상기 기계 시스템의 진동 신호를 상기 출력 신호로서 획득할 수 있다.

[0019] 상기 잔여 수명 예측부는 상기 정상 상태일 때의 확률 값과 상기 제1 결함 상태일 때의 확률 값을 비교하여 제1 확률 차이 값을 계산하고, 상기 제1 확률 차이 값에 기초하여 상기 제1 시간에 대한 보간을 수행함으로써 상기 기계 시스템의 잔여 수명 값을 예측할 수 있다.

[0020] 상기 확률 및 시간 측정부는 칼만 필터를 이용하여 상기 제1 결함 상태 이후에 발생한 제2 결함 상태일 때의 확률 값, 및 상기 제1 결함 상태에서 상기 제2 결함 상태까지의 제2 시간을 측정하고, 상기 잔여 수명 예측부는 상기 제2 결함 상태일 때의 확률 값을 상기 제1 결함 상태일 때의 확률 값과 비교하여 제2 확률 차이 값을 계산하고, 상기 제2 확률 차이 값에 더 기초하여, 상기 제2 시간에 대한 보간(interpolation)을 더 수행함으로써 상기 기계 시스템의 잔여 수명 값을 예측할 수 있다.

[0021] 본 발명의 일 실시예에 따른 기계 시스템의 잔여 수명 예측 방법은 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치에서, 상기 기계 시스템에 크리티컬(Critical)한 결함이 발생했을 때 나오는 신호를 학습하여 패턴 인식 모델을 생성하는 단계; 상기 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치에서, 상기 패턴 인식 모델에 기초하여 상기 기계 시스템이 정상 상태일 때의 확률 값과 최초로 결함이 발생한 상태를 나타내는 제1 결함 상태일 때의 확률 값을 측정하는 단계; 상기 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치에서, 상기 정상 상태에서 상기 제1 결함 상태까지의 제1 시간을 측정하는 단계; 및 상기 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치에서, 상기 정상 상태일 때의 확률 값과 상기 제1 결함 상태일 때의 확률 값 및 상기 측정된 제1 시간에 기초하여 보간(interpolation)을 수행함으로써 상기 기계 시스템의 잔여 수명 값을 예측하는 단계를 포함한다.

[0022] 상기 패턴 인식 모델은 은닉 마르코프 모델(HMM)인 것이 바람직하다.

[0023] 상기 패턴 인식 모델을 생성하는 단계는 상기 기계 시스템의 출력 신호를 푸리에 변환하여 특징벡터를 추출하는 단계; 및 상기 추출된 특징벡터를 바움-웰치 알고리즘(Baum-Welch algorithm)에 적용하여 상기 은닉 마르코프 모델을 생성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0024] 상기 특징벡터를 추출하는 단계는 고속 푸리에 변환을 통해 상기 출력 신호로부터 복수의 고유진동수에서의 피크 값들을 상기 특징벡터로서 추출하는 단계; 또는 상기 피크 값들 간의 거리 값을 상기 특징벡터로서 추출하는 단계를 포함할 수 있다.

[0025] 상기 패턴 인식 모델을 생성하는 단계는 변위 센서 및 가속도 센서를 포함하는 진동 센서를 이용하여 상기 기계 시스템의 진동 신호를 상기 출력 신호로서 획득하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0026] 상기 기계 시스템의 잔여 수명 값을 예측하는 단계는 상기 정상 상태일 때의 확률 값과 상기 제1 결함 상태일 때의 확률 값을 비교하여 제1 확률 차이 값을 계산하는 단계; 및 상기 제1 확률 차이 값에 기초하여 상기 제1 시간에 대한 보간을 수행함으로써 상기 기계 시스템의 잔여 수명 값을 예측하는 단계를 포함할 수 있다.

[0027] 본 발명의 일 실시예에 따른 기계 시스템의 잔여 수명 예측 방법은 상기 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치에서, 칼만 필터를 이용하여 상기 제1 결함 상태 이후에 발생한 제2 결함 상태일 때의 확률 값, 및 상기 제1 결함 상태에서 상기 제2 결함 상태까지의 제2 시간을 측정하는 단계를 더 포함하고, 상기 기계 시스템의 잔여 수명 값을 예측하는 단계는 상기 제2 결함 상태일 때의 확률 값을 상기 제1 결함 상태일 때의 확률 값과 비교하여 제2 확률 차이 값을 계산하는 단계; 및 상기 제2 확률 차이 값에 더 기초하여, 상기 제2 시간에 대한 보간(interpolation)을 더 수행함으로써 상기 기계 시스템의 잔여 수명 값을 예측하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0029] 기타 실시예들의 구체적인 사항들은 상세한 설명 및 첨부 도면들에 포함되어 있다.

발명의 효과

[0031] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 은닉 마르코프 모델(HMM)과 칼만 필터(Kalman filter)를 이용하여 모든 기계 시스템에서 작동을 멈추지 않고서도 작동 중인 신호만으로 기계 시스템의 상태를 진단할 수 있으며, 이를 통해 잔여 수명이 얼마나 되는지를 예측할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0033] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치를 설명하기 위해 도시한 블록도이다.

도 2 및 도 3은 본 발명의 일 실시예에 있어서, 기계 시스템의 스테이지 신호에 따른 확률 값 그래프를 이용하여 기계 시스템의 잔여 수명을 예측하는 일례를 도시한 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 기계 시스템의 잔여 수명 예측 방법을 설명하기 위해 도시한 흐름도이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 있어서, 은닉 마르코프 모델(HMM)을 생성하는 과정을 상세히 도시한 흐름도이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 있어서, 보간(interpolation)을 수행하는 과정을 상세히 도시한 흐름도이다.

도 7은 본 발명의 다른 실시예에 따른 기계 시스템의 잔여 수명 예측 방법을 설명하기 위해 도시한 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0034] 본 발명의 이점 및/또는 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나, 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성요소를 지칭한다.

[0036] 일반적으로 결함 은닉 마르코프 모델(HMM)에서 정상 상태의 신호(정상 신호)는 확률 값이 낮게 나타나지만, 결함이 발생했을 때의 신호(결함 신호)는 확률 값이 높게 나온다. 따라서, 본 발명의 일 실시예에서는 이러한 은닉 마르코프 모델에서의 신호 특성을 가지고 기계 시스템의 현재 상태가 결함인지 아닌지를 진단할 수 있다. 더욱이, 본 발명의 일 실시예에서는 그 결함이 크리티컬(Critical)한 결함으로 진전되기까지 잔여 수명이 얼마나 남았는지를 예측할 수 있다.

[0037] 이를 위해, 본 발명의 일 실시예에서는 먼저 Critical한 결함 HMM모델에서 정상 신호의 확률 값을 확인하고, 정상 상태에서 결함이 처음 발생했을 때(제1 결함 상태)까지의 시간을 체크하며, 그때 결함 신호의 확률 값을 확인한다. 그리고, 본 발명의 일 실시예에서는 각 신호의 확률 값들을 가지고 보간(Interpolation) 하여 상기 기계 시스템의 잔여 수명을 예측한다.

[0038] 하지만, 보다 신뢰성 있는 잔여 수명 정보를 얻기 위해, 본 발명의 일 실시예에서는 칼만필터 방법을 이용한다. 상기 칼만필터를 이용하면 이전 데이터를 가지고 다음 데이터를 예측할 수 있기 때문에 처음 결함이 발견되었을 때부터 일정한 크기만큼 조금 더 결함이 진전될 때(제2 결함 상태)까지 시간과 바로 그 지점의 확률 값을 예측

할 수 있다. 따라서, 본 발명의 일 실시예에서는 3개의 확률 값(정상상태, 제1 결함 상태, 제2 결함 상태)을 가지고 보간을 수행하여 상기 기계 시스템의 잔여 수명을 예측할 수 있다.

[0039] 이로써, 본 발명의 일 실시예에서는 2개의 확률 값(정상상태, 제1 결함 상태)을 가지고 보간을 수행할 수도 있지만, 3개의 확률 값(정상상태, 제1 결함 상태, 제2 결함 상태)를 가지고 보간을 수행함으로써 2개의 확률 값을 가지고 보간을 수행할 때보다 더 정확한 잔여 수명 값을 예측할 수 있다. 본 발명의 일 실시예에서는 이러한 작업을 반복함으로써 점점 더 많은 정보를 가지고 보간을 할 수 있으며, 이를 통해 더욱 신뢰성 높은 잔여 수명 값을 예측할 수 있다.

[0040] 기존에는 기계 시스템의 올바른 작동을 위해서는 주기적인 정비와 보수 작업이 필요하였으며, 이러한 작업을 하기 위해서는 기계 시스템의 작동을 멈추어야만 했다. 그러나, 기계 시스템의 작동을 멈추는 시간 동안 경제적으로나 시간적으로 손해가 발생하는 건 불가피하였다.

[0041] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 모든 기계 시스템에서 작동을 멈추지 않고서도 작동중인 신호만을 이용하여 그 신호를 실시간으로 확인하여 기계 시스템의 상태를 진단할 수 있으며, 또한 잔여 수명이 얼마나 되는지를 예측할 수가 있다.

[0043] 이하에서는 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 상세히 설명하기로 한다.

[0044] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치를 설명하기 위해 도시한 블록도이다.

[0045] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치(100)는 학습 모델 생성부(110), 확률 및 시간 측정부(120), 잔여 수명 예측부(130), 및 제어부(140)를 포함할 수 있다.

[0046] 상기 학습 모델 생성부(110)는 기계 시스템에 크리티컬(Critical)한 결함이 발생했을 때 나오는 신호를 학습하여 패턴 인식 모델을 생성한다. 여기서, 상기 패턴 인식 모델은 은닉 마르코프 모델(HMM)인 것이 바람직하다.

[0047] 즉, 상기 학습 모델 생성부(110)는 상기 기계 시스템의 출력 신호를 푸리에 변환하여 특징벡터를 추출하고, 상기 추출된 특징벡터를 바움-웰치 알고리즘(Baum-Welch algorithm)에 적용하여 상기 은닉 마르코프 모델을 생성할 수 있다.

[0048] 이때, 상기 학습 모델 생성부(110)는 변위 센서, 가속도 센서 등과 같은 진동 센서를 이용하여 상기 기계 시스템의 진동 신호를 감지하고, 상기 감지된 진동 신호를 상기 기계 시스템의 출력 신호로서 획득할 수 있다.

[0049] 또한, 상기 학습 모델 생성부(110)는 고속 푸리에 변환(FFT)을 통해 상기 기계 시스템의 출력 신호로부터 복수의 고유진동수에서의 피크 값들을 상기 특징벡터로서 추출하거나, 상기 피크 값들 간의 거리 값을 상기 특징벡터로서 추출할 수 있다.

[0050] 상기 확률 및 시간 측정부(120)는 상기 패턴 인식 모델, 즉 상기 은닉 마르코프 모델(HMM)에 기초하여 상기 기계 시스템이 정상 상태일 때의 확률 값과 최초로 결함이 발생한 상태를 나타내는 제1 결함 상태일 때의 확률 값을 측정할 수 있다. 이때, 상기 확률 및 시간 측정부(120)는 상기 정상 상태에서 상기 제1 결함 상태까지의 제1 시간을 측정할 수 있다.

[0051] 상기 확률 및 시간 측정부(120)는 칼만 필터를 이용하여 상기 제1 결함 상태 이후에 발생한 제2 결함 상태일 때의 확률 값을 측정할 수도 있다. 이때, 상기 확률 및 시간 측정부(120)는 상기 제1 결함 상태에서 상기 제2 결함 상태까지의 제2 시간을 측정할 수 있다.

[0052] 이와 같이, 상기 확률 및 시간 측정부(120)는 상기 기계 시스템의 결함 상태일 때의 확률 값 및 시간을 한 번 또는 두 번 측정할 수 있지만, 이에 한정되지 않고 그 이상으로 측정할 수도 있다. 상기 확률 및 시간 측정부(120)의 측정 횟수가 증가할수록 상기 기계 시스템의 잔여 수명 예측의 정확성은 향상될 수 있다.

[0053] 상기 잔여 수명 예측부(130)는 상기 정상 상태일 때의 확률 값과 상기 제1 결함 상태일 때의 확률 값 및 상기 측정된 제1 시간에 기초하여 보간(interpolation)을 수행함으로써 상기 기계 시스템의 잔여 수명 값을 예측한다.

[0054] 이를 위해, 상기 잔여 수명 예측부(130)는 상기 정상 상태일 때의 확률 값과 상기 제1 결함 상태일 때의 확률 값을 비교하여 제1 확률 차이 값을 계산하고, 상기 제1 확률 차이 값에 기초하여 상기 제1 시간에 대한 보간을 수행함으로써 상기 기계 시스템의 잔여 수명 값을 예측할 수 있다.

[0055] 상기 잔여 수명 예측부(130)는 상기 제2 결함 상태일 때의 확률 값을 상기 제1 결함 상태일 때의 확률 값과 비교하여 제2 확률 차이 값을 계산할 수 있다. 상기 잔여 수명 예측부(130)는 상기 기계 시스템의 잔여 수명을 더욱 정밀하게 예측하기 위해, 상기 제1 확률 차이 값뿐만 아니라 상기 제2 확률 차이 값에 더 기초하여, 상기 제2 시간에 대한 보간(interpolation)을 더 수행할 수 있다. 이로써, 상기 잔여 수명 예측부(130)는 상기 기계 시스템의 잔여 수명 값을 보다 정확히 예측할 수 있다.

[0056] 상기 제어부(140)는 본 발명의 일 실시예에 따른 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치(100), 즉 상기 학습 모델 생성부(110), 상기 확률 및 시간 측정부(120), 상기 잔여 수명 예측부(130) 등의 동작을 전반적으로 제어할 수 있다.

[0058] 도 2 및 도 3은 본 발명의 일 실시예에 있어서, 기계 시스템의 스테이지 신호에 따른 확률 값 그래프를 이용하여 기계 시스템의 잔여 수명을 예측하는 일례를 도시한 도면이다.

[0059] 먼저 도 2의 ①에서는 은닉 마르코프 모델(HMM)에 기초하여 상기 기계 시스템이 정상 상태일 때의 확률 값을 측정하고, 도 2의 ②에서는 상기 정상 상태에서 상기 제1 결함 상태까지의 제1 시간을 측정한다. 그리고, 도 2의 ③에서는 최초로 결함이 발생한 상태를 나타내는 제1 결함 상태일 때의 확률 값을 측정한다. 이어서, 도 2의 ④에서는 상기 정상 상태일 때의 확률 값과 상기 제1 결함 상태일 때의 확률 값 및 상기 측정된 제1 시간에 기초하여 보간(interpolation)을 수행한다. 이로써, 도 2의 ⑤에서는 상기 기계 시스템의 잔여 수명 값을 예측한다.

[0060] 다음으로, 도 3의 ⑥, ⑦에서는 칼만 필터를 이용하여 상기 제1 결함 상태 이후에 발생한 제2 결함 상태일 때의 확률 값을 측정하고, 도 3의 ⑧에서는 상기 제1 결함 상태일 때의 확률 값에 상기 제2 결함 상태일 때의 확률 값을 더하여, 상기 제1 결함 상태에서 상기 제2 결함 상태까지의 제2 시간에 대한 보간(interpolation)을 더 수행한다. 이로써, 도 3의 ⑨에서는 상기 기계 시스템의 잔여 수명 값을 보다 더 신뢰성 있게 예측하게 된다.

[0062] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 기계 시스템의 잔여 수명 예측 방법을 설명하기 위해 도시한 흐름도이고, 도 5는 본 발명의 일 실시예에 있어서, 은닉 마르코프 모델(HMM)을 생성하는 과정을 상세히 도시한 흐름도이며, 도 6은 본 발명의 일 실시예에 있어서, 보간(interpolation)을 수행하는 과정을 상세히 도시한 흐름도이다.

[0063] 도 4를 참조하면, 단계(410)에서 상기 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치는 상기 기계 시스템에 크리티컬(Critical)한 결함이 발생했을 때 나오는 신호를 학습하여 은닉 마르코프 모델(HMM)을 생성한다.

[0064] 구체적으로, 도 5를 참조하면, 단계(510)에서 상기 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치는 변위 센서 또는 가속도 센서를 이용하여 상기 기계 시스템의 진동 신호를 상기 출력 신호로서 획득한다. 이후, 단계(520)에서 상기 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치는 상기 기계 시스템의 출력 신호를 푸리에 변환하여 특징벡터를 추출한다. 이후, 단계(530)에서 상기 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치는 상기 추출된 특징벡터를 바움-웰치 알고리즘(Baum-Welch algorithm)에 적용하여 상기 은닉 마르코프 모델을 생성한다.

[0065] 다음으로, 다시 도 4를 참조하면, 단계(420)에서 상기 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치는 상기 은닉 마르코프 모델(HMM)에 기초하여 상기 기계 시스템이 정상 상태일 때의 확률 값과 최초로 결함이 발생한 상태를 나타내는 제1 결함 상태일 때의 확률 값을 측정한다.

[0066] 다음으로, 단계(430)에서 상기 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치는 상기 정상 상태에서 상기 제1 결함 상태까지의 제1 시간을 측정한다.

[0067] 다음으로, 단계(440)에서 상기 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치는 상기 정상 상태일 때의 확률 값과 상기 제1 결함 상태일 때의 확률 값 및 상기 측정된 제1 시간에 기초하여 보간(interpolation)을 수행한다.

[0068] 구체적으로, 도 6을 참조하면, 단계(610)에서 상기 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치는 상기 정상 상태일 때의 확률 값과 상기 제1 결함 상태일 때의 확률 값을 비교하여 제1 확률 차이 값을 계산한다. 이후, 단계(620)에서 상기 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치는 상기 제1 확률 차이 값에 기초하여 상기 제1 시간에 대한 보간을 수행한다.

[0069] 다음으로, 다시 도 4를 참조하면, 단계(450)에서 상기 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치는 상기 보간을 통해

상기 기계 시스템의 잔여 수명 값을 예측한다.

[0071] 도 7은 본 발명의 다른 실시예에 따른 기계 시스템의 잔여 수명 예측 방법을 설명하기 위해 도시한 흐름도이다.

[0072] 도 7을 참조하면, 단계(710)에서 상기 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치는 상기 기계 시스템에 크리티컬(Critical)한 결함이 발생했을 때 나오는 신호를 학습하여 은닉 마르코프 모델(HMM)을 생성한다.

[0073] 다음으로, 단계(720)에서 상기 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치는 상기 은닉 마르코프 모델(HMM)에 기초하여 상기 기계 시스템이 정상 상태일 때의 확률 값과 최초로 결함이 발생한 상태를 나타내는 제1 결함 상태일 때의 확률 값을 측정한다.

[0074] 다음으로, 단계(730)에서 상기 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치는 상기 정상 상태에서 상기 제1 결함 상태까지의 제1 시간을 측정한다.

[0075] 다음으로, 단계(740)에서 상기 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치는 상기 정상 상태일 때의 확률 값과 상기 제1 결함 상태일 때의 확률 값을 비교하여 제1 확률 차이 값을 계산한다.

[0076] 다음으로, 단계(750)에서 상기 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치는 상기 제1 확률 차이 값에 기초하여 상기 측정된 제1 시간에 대한 보간(interpolation)을 수행한다.

[0077] 다음으로, 단계(760)에서 상기 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치는 칼만 필터를 이용하여 상기 제1 결함 상태 이후에 발생한 제2 결함 상태일 때의 확률 값을 측정한다.

[0078] 다음으로, 단계(770)에서 상기 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치는 상기 제1 결함 상태에서 상기 제2 결함 상태까지의 제2 시간을 측정한다.

[0079] 다음으로, 단계(780)에서 상기 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치는 상기 제1 결함 상태일 때의 확률 값과 상기 제2 결함 상태일 때의 확률 값을 비교하여 제2 확률 차이 값을 계산한다.

[0080] 다음으로, 단계(790)에서 상기 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치는 상기 제1 확률 차이값과 상기 제2 확률 차이 값에 기초하여, 상기 제1 시간 및 제2 시간에 대한 보간(interpolation)을 수행한다.

[0081] 다음으로, 단계(795)에서 상기 기계 시스템의 잔여 수명 예측 장치는 상기 보간을 통해 상기 기계 시스템의 잔여 수명 값을 예측한다.

[0083] 본 발명의 실시예들은 다양한 컴퓨터로 구현되는 동작을 수행하기 위한 프로그램 명령을 포함하는 컴퓨터 판독 가능 매체를 포함한다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 로컬 데이터 파일, 로컬 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체는 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체, CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체, 플롭티컬 디스크와 같은 자기-광 매체, 및 롬, 램, 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.

[0085] 지금까지 본 발명에 따른 구체적인 실시예에 관하여 설명하였으나, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않는 한도 내에서는 여러 가지 변형이 가능함은 물론이다. 그러므로, 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 안 되며, 후술하는 특허 청구의 범위뿐 아니라 이 특허 청구의 범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

[0086] 이상과 같이 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 이는 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 따라서, 본 발명 사상은 아래에 기재된 특허청구범위에 의해서만 파악되어야 하고, 이의 균등 또는 등가적 변형 모두는 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

부호의 설명

[0088] 110: 학습 모델 생성부

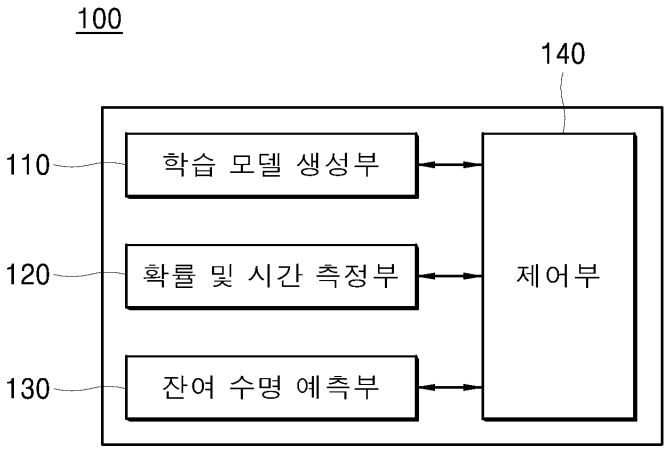
120: 확률 및 시간 측정부

130: 잔여 수명 예측부

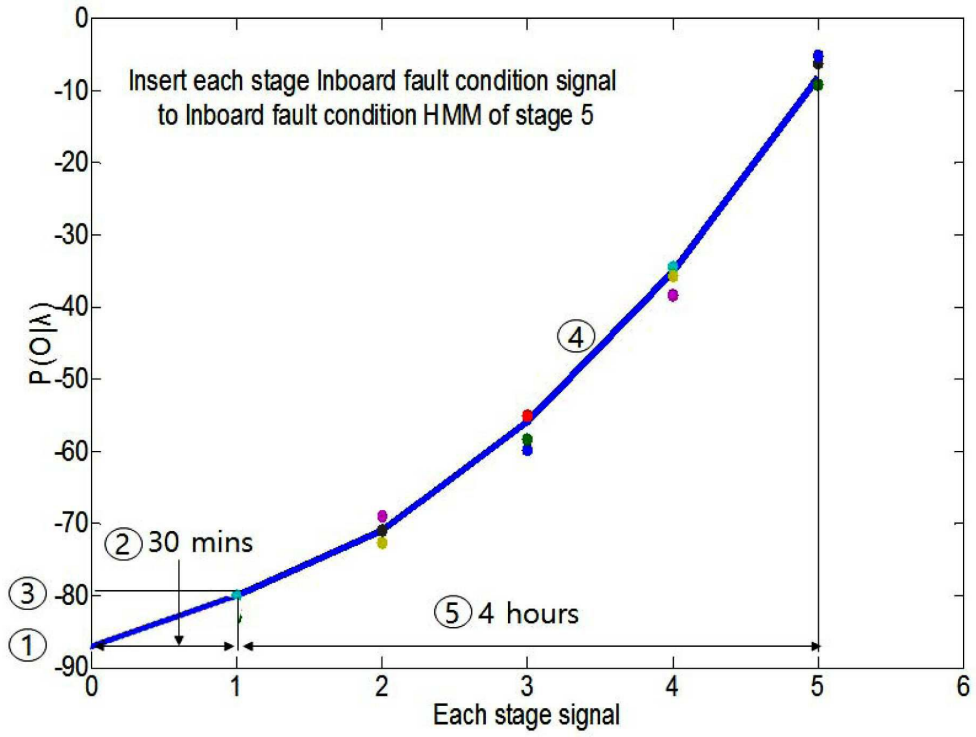
140: 제어부

도면

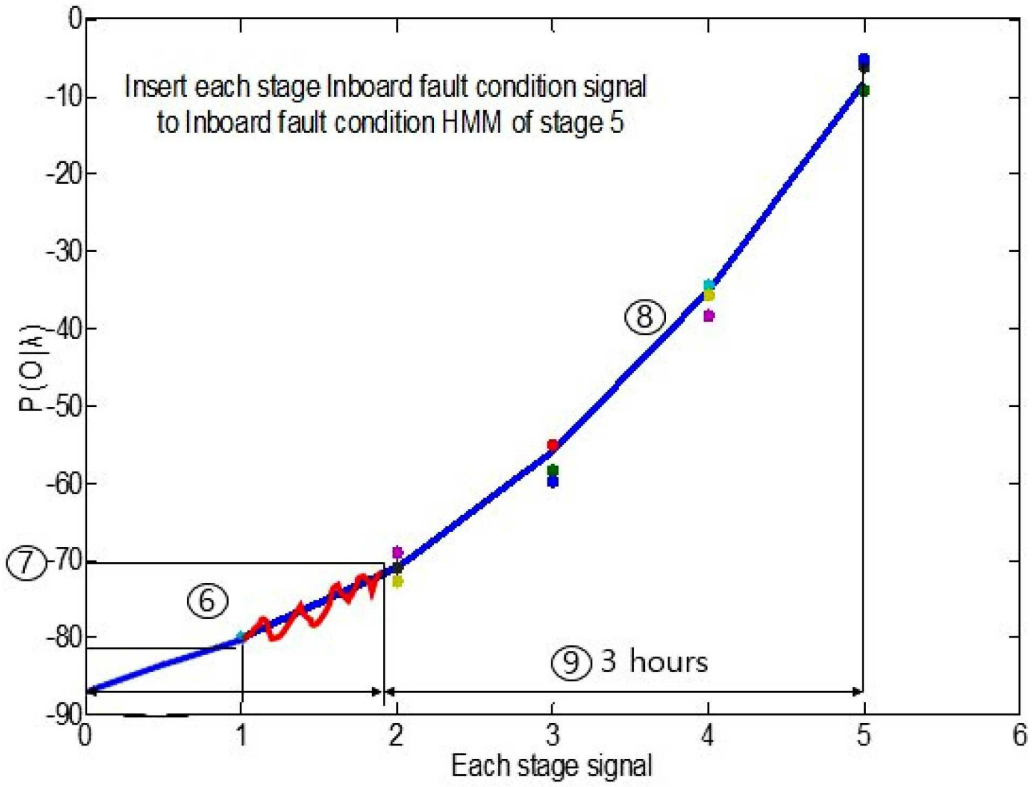
도면1



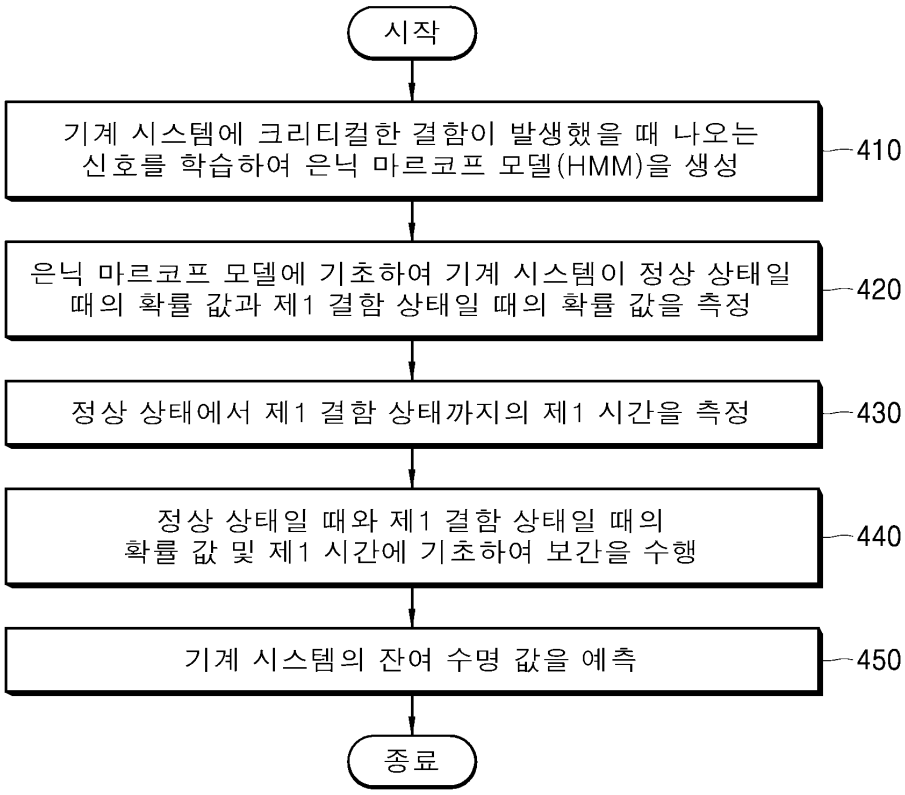
도면2



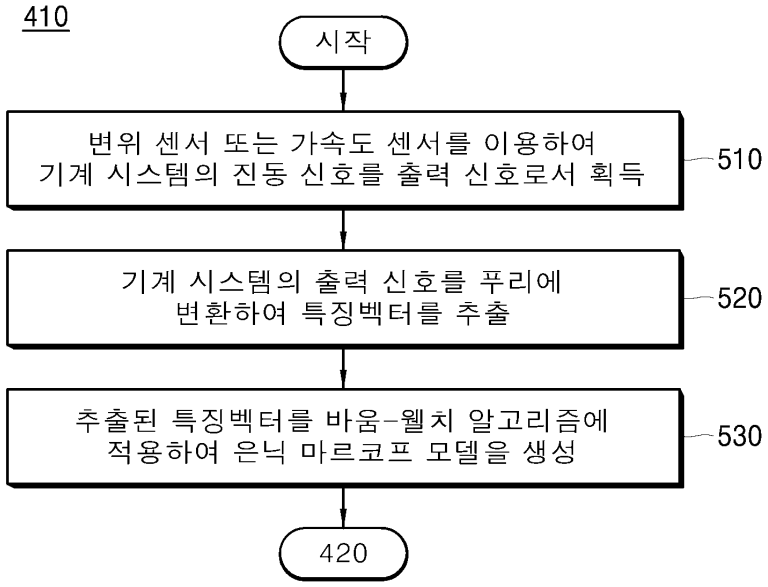
도면3


Insert each stage Inboard fault condition signal
to Inboard fault condition HMM of stage 5
P(O|λ)
Each stage signal
⑥
⑦
⑧
⑨ 3 hours

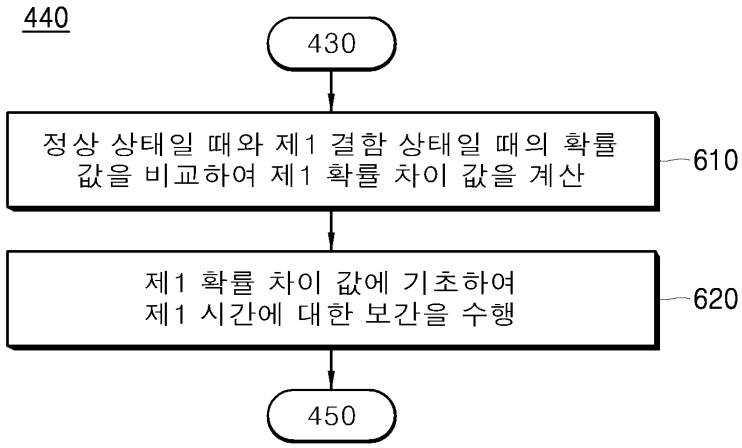
도면4


시작
기계 시스템에 크리티컬한 결함이 발생했을 때 나오는 신호를 학습하여 은닉 마르코프 모델(HMM)을 생성
410
은닉 마르코프 모델에 기초하여 기계 시스템이 정상 상태일 때의 확률 값과 제1 결함 상태일 때의 확률 값을 측정
420
정상 상태에서 제1 결함 상태까지의 제1 시간을 측정
430
정상 상태일 때와 제1 결함 상태일 때의 확률 값 및 제1 시간에 기초하여 보간을 수행
440
기계 시스템의 잔여 수명 값을 예측
450
종료

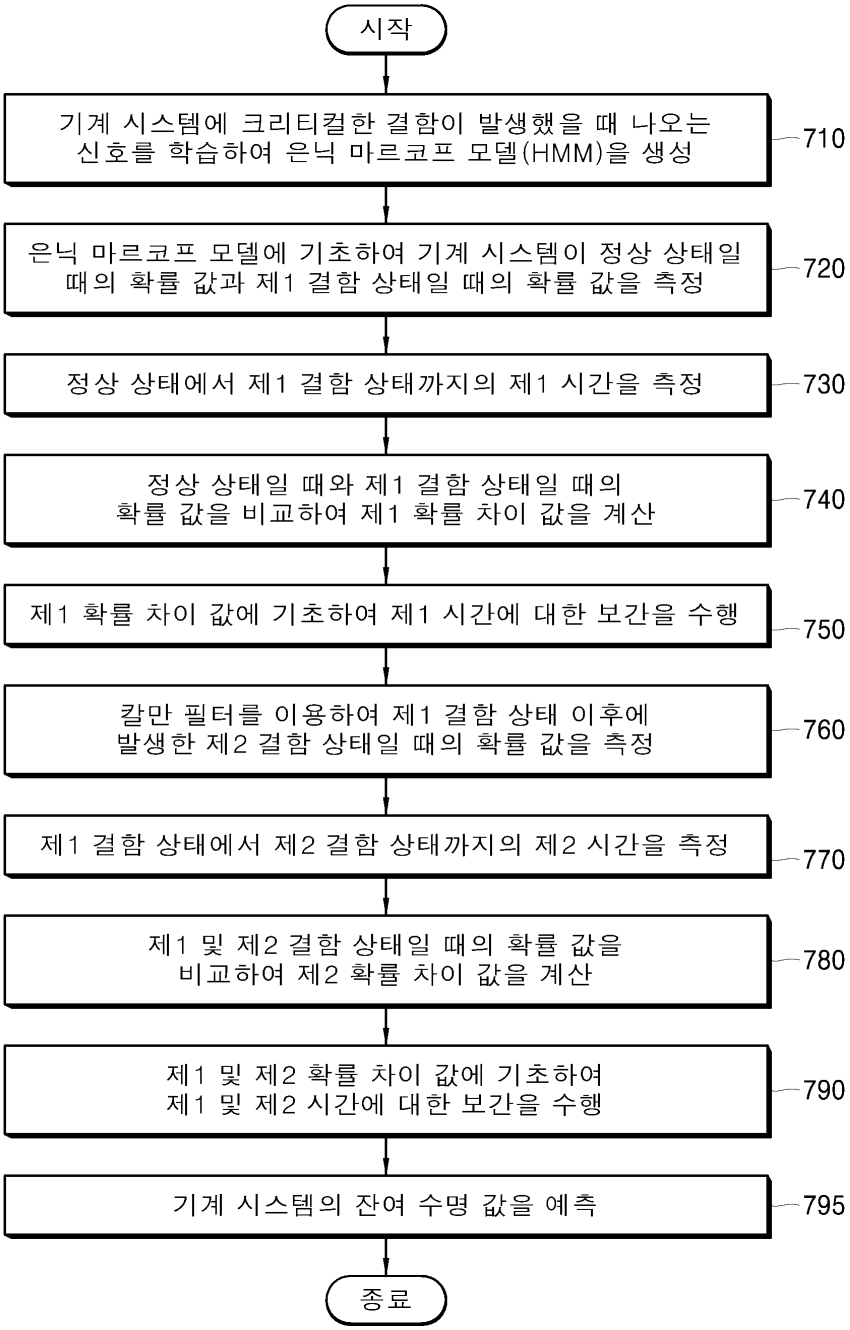
도면5


410
시작
변위 센서 또는 가속도 센서를 이용하여
기계 시스템의 진동 신호를 출력 신호로서 획득
510
기계 시스템의 출력 신호를 푸리에
변환하여 특징벡터를 추출
520
추출된 특징벡터를 바움-웰치 알고리즘에
적용하여 은닉 마르코프 모델을 생성
530
420

도면6


440
430
정상 상태일 때와 제1 결함 상태일 때의 확률
값을 비교하여 제1 확률 차이 값을 계산
610
제1 확률 차이 값에 기초하여
제1 시간에 대한 보간을 수행
620
450

도면7


시작
기계 시스템에 크리티컬한 결함이 발생했을 때 나오는 신호를 학습하여 은닉 마르코프 모델(HMM)을 생성
710
은닉 마르코프 모델에 기초하여 기계 시스템이 정상 상태일 때의 확률 값과 제1 결함 상태일 때의 확률 값을 측정
720
정상 상태에서 제1 결함 상태까지의 제1 시간을 측정
730
정상 상태일 때와 제1 결함 상태일 때의 확률 값을 비교하여 제1 확률 차이 값을 계산
740
제1 확률 차이 값에 기초하여 제1 시간에 대한 보간을 수행
750
칼만 필터를 이용하여 제1 결함 상태 이후에 발생한 제2 결함 상태일 때의 확률 값을 측정
760
제1 결함 상태에서 제2 결함 상태까지의 제2 시간을 측정
770
제1 및 제2 결함 상태일 때의 확률 값을 비교하여 제2 확률 차이 값을 계산
780
제1 및 제2 확률 차이 값에 기초하여 제1 및 제2 시간에 대한 보간을 수행
790
기계 시스템의 잔여 수명 값을 예측
795
종료