(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0080798
(43) 공개일자 2020년07월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
*G05B 23/02* (2006.01)
(52) CPC특허분류
*G05B 23/0256* (2013.01)
*G05B 23/0237* (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0170632
(22) 출원일자 2018년12월27일
심사청구일자 2018년12월27일

(71) 출원인
**경희대학교 산학협력단**
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
(72) 발명자
**허균영**
경기도 수원시 영통구 매영로310번길 12, 신나무실5단지아파트 진흥아파트 553동 503호 (영통동)
**이브라힘 아미드**
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 공학대학 원자력공학과 401호(서천동)
**하가연**
경기도 수원시 영통구 매영로415번길 42-23, 203호 (영통동)
(74) 대리인
**김연권**

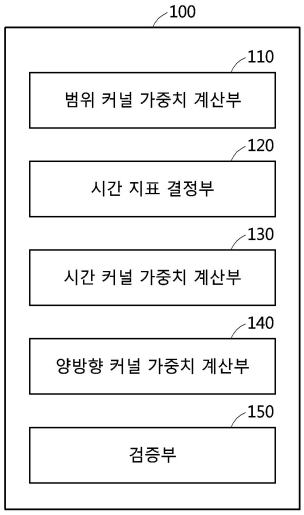
전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 발명의 명칭 **가중 거리 자기 연상 양방향 커널 회귀를 이용한 온라인 신호 데이터 검증 장치 및 방법**

## (57) 요 약

본 발명은 가중 거리 자기 연상 양방향 커널 회귀(Auto Associative Bilateral Kernel Regression, AABKR)를 이용하여 산업 공정을 모니터링 하기 위한 기술에 관한 것으로서, 온라인 신호 데이터 검증 장치가 산업설비에 설치된 계측기에 의해 측정될 신호 데이터의 범위적 변화에 기초하여 상기 신호 데이터의 범위 커널 가중치를 계산하고, 상기 신호 데이터의 시간적 변화와 관련된 쿼리 시간 지표를 결정하며, 상기 결정된 쿼리 시간 지표에 기초하여 상기 신호 데이터의 시간 커널 가중치를 계산하고, 상기 계산된 범위 커널 가중치와 상기 계산된 시간 커널 가중치를 이용하여 상기 신호 데이터의 양방향 커널 가중치를 계산하며, 상기 신호 데이터와 상기 계산된 양방향 커널 가중치를 이용하여 상기 산업설비의 공정 결함을 검증하는 기술에 관한 것이다.

*대 표 도* - 도1



(52) CPC특허분류
*G05B 23/0262* (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 20171968
부처명 한국에너지기술평가원
연구관리전문기관 한국에너지기술평가원
연구사업명 에너지기술개발사업
연구과제명 발전소 폐열 활용 해양복합온도차 발전 실증(2/4)
기 여 율 80/100
주관기관 경희대학교 산학협력단
연구기간 2016.12.01 ~ 2019.09.30
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 20181491
부처명 한국연구재단
연구관리전문기관 한국학술진흥재단
연구사업명 원자력연구개발사업/원자력연구기반확충사업
연구과제명 영출력 원자로를 이용한 선진 미래기반 연구
기 여 율 20/100
주관기관 경희대학교 산학협력단
연구기간 2017.09.20 ~ 2022.08.31

# 명 세 서

## 청구범위

### 청구항 1

산업설비에 설치된 계측기에 의해 측정될 신호 데이터의 범위적 변화에 기초하여 상기 신호 데이터의 범위 커널 가중치를 계산하는 범위 커널 가중치 계산부;

상기 신호 데이터의 시간적 변화와 관련된 쿼리 시간 지표를 결정하는 시간 지표 결정부;

상기 결정된 쿼리 시간 지표에 기초하여 상기 신호 데이터의 시간 커널 가중치를 계산하는 시간 커널 가중치 계산부;

상기 계산된 범위 커널 가중치와 상기 계산된 시간 커널 가중치를 이용하여 상기 신호 데이터의 양방향 커널 가중치를 계산하는 양방향 커널 가중치 계산부; 및

상기 신호 데이터와 상기 계산된 양방향 커널 가중치를 이용하여 상기 산업설비의 공정 결함을 검증하는 검증부를 포함하는

온라인 신호 데이터 검증 장치.

### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 범위 커널 가중치 계산부는

상기 신호 데이터가 발생될 범위와 관련된 쿼리 벡터와 상기 신호 데이터에 의해 발생될 시간적 변화 및 범위적 변화와 관련된 벡터들의 집합을 행렬로 표현하는 이력 메모리 데이터 간의 거리 벡터들을 계산하고, 상기 계산된 거리 벡터들에 가우시안 커널 함수를 적용하여 상기 범위 커널 가중치를 계산하는

온라인 신호 데이터 검증 장치.

### 청구항 3

제2항에 있어서,

상기 범위 커널 가중치 계산부는

상기 이력 메모리 데이터에 포함된 벡터들 중 상기 범위와 관련된 벡터와 상기 범위와 관련된 쿼리 벡터 간의 차이에 대한 절대값을 상기 거리 벡터들 중 어느 하나의 거리 벡터로 계산하는

온라인 신호 데이터 검증 장치.

### 청구항 4

제2항에 있어서,

상기 시간 지표 결정부는

상기 이력 메모리 데이터에 포함된 벡터들 중 상기 신호 데이터가 발생될 시간과 관련된 쿼리 벡터와 시간 상 인접한 적어도 세 개의 벡터를 결정하고, 상기 결정된 적어도 세 개의 벡터에 기초하여 상기 쿼리 시간 지표를 결정하는

온라인 신호 데이터 검증 장치.

### 청구항 5

제4항에 있어서,

상기 시간 지표 결정부는

상기 결정된 적어도 세 개의 벡터에 일정 비율을 각각 반영하고, 상기 일정 비율이 각각 반영된 적어도 세 개의 벡터를 기설정된 순서에 따라 가감 연산(덧셈 또는 뺄셈연산)하고, 상기 가감 연산된 결과를 상기 이력 메모리 데이터에 기초하여 결정된 벡터들 간의 시간 간격에 대한 일정 비율로 나눈 몫을 이용하여 상기 이력 메모리 데이터에 포함된 벡터들에 대한 상기 쿼리 시간 지표를 결정하는

온라인 신호 데이터 검증 장치.

**청구항 6**

제1항에 있어서,

상기 시간 커널 가중치 계산부는

상기 결정된 쿼리 시간 지표에 기반하여 상기 신호 데이터가 발생될 시간과 관련된 쿼리 벡터와 상기 신호 데이터에 의해 발생될 시간적 변화 및 범위적 변화와 관련된 벡터들의 집합을 행렬로 표현하는 이력 메모리 데이터 간의 시간 가중 거리 벡터들을 계산하고, 상기 계산된 시간 가중 거리 벡터들에 가우시안 커널 함수를 적용하여 상기 시간 커널 가중치를 계산하는

온라인 신호 데이터 검증 장치.

**청구항 7**

제1항에 있어서,

상기 양방향 커널 가중치 계산부는

상기 결정된 쿼리 시간 지표에 기반하여 상기 범위적 변화와 상기 시간적 변화가 다를 경우, 상기 범위 커널 가중치와 상기 시간 커널 가중치를 결합하여 상기 양방향 커널 가중치를 계산하는

온라인 신호 데이터 검증 장치.

**청구항 8**

제1항에 있어서,

상기 양방향 커널 가중치 계산부는

상기 결정된 쿼리 시간 지표에 기반하여 상기 범위적 변화와 상기 시간적 변화가 동일할 경우, 상기 범위 커널 가중치와 상기 시간 커널 가중치 간의 평균을 상기 양방향 커널 가중치로 계산하는

온라인 신호 데이터 검증 장치.

**청구항 9**

제1항에 있어서,

상기 검증부는

상기 신호 데이터와 상기 계산된 양방향 커널 가중치를 이용하여 상기 신호 데이터에 대한 예측 데이터 집합을 계산할 시, 상기 계산된 양방향 커널 가중치와 관련된 가우시안 커널 함수의 대역폭을 조정하여 상기 계산된 예측 데이터 집합에 대한 평균 제곱 에러를 감소시키는

온라인 신호 데이터 검증 장치.

**청구항 10**

제9항에 있어서,

상기 검증부는

상기 계산된 예측 데이터 집합과 상기 신호 데이터 간의 차이에 대한 가우시안 분포를 이용하여 상기 공정 결함 여부를 결정하기 위한 임계값을 결정하는

온라인 신호 데이터 검증 장치.

**청구항 11**

제10항에 있어서,

상기 검증부는

상기 신호 데이터에 기반한 값이 상기 결정된 임계값보다 작을 경우, 상기 신호 데이터에 기반하여 상기 산업설비의 공정을 정상 상태(normal condition)로 결정하고,

상기 신호 데이터에 기반한 값이 상기 결정된 임계값보다 클 경우, 상기 신호 데이터에 기반하여 상기 산업설비의 공정을 결함 상태(fault condition)로 결정하는

온라인 신호 데이터 검증 장치.

**청구항 12**

범위 커널 가중치 계산부에서, 산업설비에 설치된 계측기에 의해 측정될 신호 데이터의 범위적 변화에 기초하여 상기 신호 데이터의 범위 커널 가중치를 계산하는 단계;

시간 지표 결정부에서, 상기 신호 데이터의 시간적 변화와 관련된 쿼리 시간 지표를 결정하는 단계;

시간 커널 가중치 계산부에서, 상기 결정된 쿼리 시간 지표에 기초하여 상기 신호 데이터의 시간 커널 가중치를 계산하는 단계;

양방향 커널 가중치 계산부에서, 상기 계산된 범위 커널 가중치와 상기 계산된 시간 커널 가중치를 이용하여 상기 신호 데이터의 양방향 커널 가중치를 계산하는 단계; 및

검증부에서, 상기 신호 데이터와 상기 계산된 양방향 커널 가중치를 이용하여 상기 산업설비의 공정 결함을 검증하는 단계를 포함하는

온라인 신호 데이터 검증 방법.

**청구항 13**

제12항에 있어서,

상기 범위 커널 가중치를 계산하는 단계는

상기 신호 데이터가 발생될 범위와 관련된 쿼리 벡터와 상기 신호 데이터에 의해 발생될 시간적 변화 및 범위적 변화와 관련된 벡터들의 집합을 행렬로 표현하는 이력 메모리 데이터 간의 거리 벡터들을 계산하는 단계; 및

상기 계산된 거리 벡터들에 가우시안 커널 함수를 적용하여 상기 범위 커널 가중치를 계산하는 단계를 포함하고,

상기 거리 벡터들을 계산하는 단계는

상기 이력 메모리 데이터에 포함된 벡터들 중 상기 범위와 관련된 벡터와 상기 범위 쿼리 벡터 간의 차이에 대한 절대값을 상기 거리 벡터들 중 어느 하나의 거리 벡터로 계산하는 단계를 포함하는

온라인 신호 데이터 검증 방법.

**청구항 14**

제12항에 있어서,

상기 신호 데이터의 시간적 변화와 관련된 쿼리 시간 지표를 결정하는 단계는,

상기 신호 데이터에 의해 발생될 시간적 변화 및 범위적 변화와 관련된 벡터들의 집합을 행렬로 표현하는 이력 메모리 데이터에 포함된 벡터들 중 상기 신호 데이터가 발생될 시간과 관련된 쿼리 벡터와 시간 상 인접한 적어도 세 개의 벡터를 결정하는 단계; 및

상기 결정된 적어도 세 개의 벡터에 일정 비율을 각각 반영하고, 상기 일정 비율이 각각 반영된 적어도 세 개의 벡터를 기설정된 순서에 따라 가감 연산(덧셈 또는 뺄셈연산)하고, 상기 가감 연산된 결과를 상기 이력 메모리 데이터에 기초하여 결정된 벡터들 간의 시간 간격에 대한 일정 비율로 나눈 몫을 이용하여 상기 이력 메모리 데

이터에 포함된 벡터들에 대한 상기 쿼리 시간 지표를 결정하는 단계를 포함하는

온라인 신호 데이터 검증 방법.

**청구항 15**

제12항에 있어서,

상기 검증부에서, 상기 신호 데이터와 상기 계산된 양방향 커널 가중치를 이용하여 상기 신호 데이터에 대한 예측 데이터 집합을 계산할 시, 상기 계산된 양방향 커널 가중치와 관련된 가우시안 커널 함수의 대역폭을 조정하여 상기 계산된 예측 데이터 집합에 대한 평균 제곱 에러를 감소시키는 단계를 더 포함하는

온라인 신호 데이터 검증 방법.

**청구항 16**

제12항에 있어서,

상기 신호 데이터와 상기 계산된 양방향 커널 가중치를 이용하여 상기 산업설비의 공정 결함을 검증하는 단계는

상기 계산된 예측 데이터 집합과 상기 신호 데이터 간의 차이에 대한 가우시안 분포를 이용하여 상기 공정 결함 여부를 결정하기 위한 임계값을 결정하는 단계;

상기 신호 데이터에 기반한 값이 상기 결정된 임계값보다 작을 경우, 상기 신호 데이터에 기반하여 상기 산업설비의 공정을 정상 상태(normal condition)로 결정하는 단계; 및

상기 신호 데이터에 기반한 값이 상기 결정된 임계값보다 클 경우, 상기 신호 데이터에 기반하여 상기 산업설비의 공정을 결함 상태(fault condition)로 결정하는 단계를 포함하는

온라인 신호 데이터 검증 방법.

## *발명의 설명*

### *기 술 분 야*

[0001] 본 발명은 가중 거리 자기 연상 양방향 커널 회귀(Auto Associative Bilateral Kernel Regression, AABKR)를 이용하여 산업 공정을 모니터링 하기 위한 기술에 관한 것으로, 보다 구체적으로, 자기 연상 양방향 커널 회귀 방법을 이용하여 기동, 정지 및 부하 추종 모드와 같은 정상 과도 운전 중 입력된 데이터의 공간 정보와 시간 정보를 모두 포착하여 양방향 커널 평가를 수행하여 산업 공정의 결함을 감지 및 검증하는 기술적 사상에 관한 것이다.

### *배 경 기 술*

[0002] 산업설비(예: 발전소)는 특정한 목적을 달성하기 위하여 다수의 계통 및 기기로 구성된 장치를 지칭하고, 일반적으로 운전 및 안전 상태를 확인하기 위한 계측기가 설치되어 있고, 계측기를 통해 계측된 신호 데이터는 오프라인 또는 온라인으로 측정될 수 있다.

[0003] 공정 및 기기 변수를 모니터 하기 위한 요건이 강화됨에 따라 온라인 모니터링 및 신호 데이터 검증 기술이 선호되고 있다. 여기서, 온라인 모니터링 및 신호 데이터 검증 기술은 산업설비의 가동 중에 기기 성능을 모니터링하는 자동화 기술을 포함할 수 있다.

[0004] 산업설비를 모니터링하기 위한 기술은 가중 거리 자기 연상 양방향 커널 회귀(Auto Associative Bilateral Kernel Regression, AABKR) 방법이 있으며, 일반적으로 정상 운전 조건에서 자체 입력 값에 대한 출력을 제공하도록 훈련된다는 점에서 자기 연상 방법에 포함된다.

[0005] 일반적으로, 가중 거리 자기 연상 양방향 커널 회귀 방법은 입력 벡터의 올바른 값을 재구성하고, 입력 벡터의 차원은 출력 벡터의 차원과 동일하다.

[0006] 가중 거리 자기 연상 양방향 커널 회귀 방법은 거리 계산 단계, 유사도 정량화 단계, 출력 값 예측 단계로 구성될 수 있다.

[0007] 또한, 가중 거리 자기 연상 양방향 커널 회귀 방법은 회귀 함수를 추정하기 위한 비모수적인 기법으로, 모수적

모델과는 달리 모델의 구조가 데이터에 의존한다.

[0008] 따라서, 모델 구성에 있어 분석가의 판단이 적어지고 모델의 훈련이 쉽다. 그리고, 새로운 관측 집합에 대한 추가가 용이함에 따라 공정 성능 저하로 인한 점진적인 신호 변화를 포착하기 위해 모델이 주기적으로 재훈련되기 적합하다.

[0009] 한편, 가중 거리 자기 연상 양방향 커널 회귀 방법은 신호의 강인성(잡음에 대한 영향) 및 파급 효과(결함이 있지 않은 다른 변수가 발견됨) 등의 문제점을 갖고 있다.

[0010] 즉, 가중 거리 자기 연상 양방향 커널 회귀 방법은 유클리드 거리 계산을 이용하여 쿼리 벡터와 이력 벡터들 사이의 거리를 계산하고, 계산된 거리에 대한 커널 가중치를 결정하고, 가중 평균을 이용하여 예측을 수행하되, 계산된 가중치를 이력 메모리 데이터의 벡터와 결합하여 예측을 하게 되며, 양방향 필터(Bilateral Filter, BF)를 적용할 경우, 쿼리 벡터의 공간과 범위를 동시에 고려할 수 있으나, 쿼리 벡터가 발생된 시간을 별도로 입력을 요구한다.

[0011] 이러한, 문제점은 결함 탐지에서 경보 누락 및 지연 또는 감지된 결함을 담당하는 신호 변수를 올바르게 식별하는데 어려움을 초래할 수 있다.

[0012] 위 문제점을 해결하기 위한 연구는 기존의 연구에서 이미 다루어 졌으나, 이러한 개선에도, 현재의 쿼리 벡터만 모델에 영향을 주기 때문에 여전히 시계열 정보를 가중 거리 자기 연상 양방향 커널 회귀 방법에 반영하는 측면에서 부족함이 있다.

[0013] 특히, 이전 정보가 다음 데이터 포인트에 직접적으로 영향을 미치는 과도 운전에서 문제가 발생되며, 시간에 따라 변하는 데이터 및 운전 과도 조건에서는 제한이 있다.

[0014] 상술한 문제점을 해결하기 위해, 하나의 신호 값이 여러 번 반복되는 시변 데이터의 경우, 정확한 신호 예측을 위해 해당 데이터 포인트의 위치에 대한 시간 정보가 일반적인 커널 회귀에 통합될 필요성이 있다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0015] (특허문헌 0001) 한국공개특허 제10-2018-0115448호, "커널 회귀 모델을 통하여 시변 신호를 검증하는 온라인 검증 장치 및 방법"

(특허문헌 0002) 한국공개특허 제10-2017-0121717호, "산업 자산 제어 시스템의 도메인 레벨 위협 검출"

(특허문헌 0003) 한국등록특허 제10-0867938호, "종속변수 유사도와 커널 회귀법을 이용한 발전소 계측기성능감시용 예측방법"

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0016] 본 발명은 가중 거리 자기 연상 양방향 커널 회귀 방법을 이용하여 산업설비의 과도 공정 동안 신호 데이터를 온라인으로 모니터링하여 산업설비의 공정 결함을 검증, 예측 및 추정하는 것을 목적으로 한다.

[0017] 본 발명은 산업설비의 과도 공정에서 측정된 신호 데이터에 대한 공간 정보와 시간 정보를 모두 포착하여 양방향 커널 가중치를 계산하는 것을 목적으로 한다.

[0018] 본 발명은 양방향 커널 가중치를 계산을 위해, 도함수를 이용하여 신호 데이터의 범위 정보에 기반하여 시간 정보의 시간 가중 거리를 계산하는 것을 목적으로 한다.

[0019] 본 발명은 이력 메모리 데이터와 쿼리 입력의 시간적 상관 관계에 기반하여 데이터의 시간적 변화를 포착하고, 포착된 시간적 변화에 기반한 쿼리 시간 지표를 결정하여 시간 가중 거리를 계산하는 것을 목적으로 한다.

[0020] 본 발명은 모델을 훈련하기 위한 이력 메모리 데이터와 검증 데이터 집합에 대한 예측의 평균 제곱 에러(mean square error, MSE)를 최소화함으로써 커널의 최적 대역폭을 식별하기 위한 검증 데이터를 그룹화하는 것을 것을 목적으로 한다.

[0021] 본 발명은 훈련에 사용된 이력 메모리 데이터와 획득된 최적의 대역폭 및 임계값을 사용하여 시스템의 온라인 상태를 모니터링하여 결함을 탐지하는 것을 목적으로 한다.

## 과제의 해결 수단

[0022] 본 발명의 일실시예에 따르면 온라인 신호 데이터 검증 장치는 산업설비에 설치된 계측기에 의해 측정될 신호 데이터의 범위적 변화에 기초하여 상기 신호 데이터의 범위 커널 가중치를 계산하는 범위 커널 가중치 계산부, 상기 신호 데이터의 시간적 변화와 관련된 쿼리 시간 지표를 결정하는 시간 지표 결정부, 상기 결정된 쿼리 시간 지표에 기초하여 상기 신호 데이터의 시간 커널 가중치를 계산하는 시간 커널 가중치 계산부, 상기 계산된 범위 커널 가중치와 상기 계산된 시간 커널 가중치를 이용하여 상기 신호 데이터의 양방향 커널 가중치를 계산하는 양방향 커널 가중치 계산부 및 상기 신호 데이터와 상기 계산된 양방향 커널 가중치를 이용하여 상기 산업설비의 공정 결함을 검증하는 검증부를 포함할 수 있다.

[0023] 상기 범위 커널 가중치 계산부는 상기 신호 데이터가 발생될 범위와 관련된 쿼리 벡터와 상기 신호 데이터에 의해 발생될 시간적 변화 및 범위적 변화와 관련된 벡터들의 집합을 행렬로 표현하는 이력 메모리 데이터 간의 거리 벡터들을 계산하고, 상기 계산된 거리 벡터들에 가우시안 커널 함수를 적용하여 상기 범위 커널 가중치를 계산할 수 있다.

[0024] 상기 범위 커널 가중치 계산부는 상기 이력 메모리 데이터에 포함된 벡터들 중 상기 범위와 관련된 벡터와 상기 범위와 관련된 쿼리 벡터 간의 차이에 대한 절대값을 상기 거리 벡터들 중 어느 하나의 거리 벡터로 계산할 수 있다.

[0025] 상기 시간 지표 결정부는 상기 이력 메모리 데이터에 포함된 벡터들 중 상기 신호 데이터가 발생될 시간과 관련된 쿼리 벡터와 시간 상 인접한 적어도 세 개의 벡터를 결정하고, 상기 결정된 적어도 세 개의 벡터에 기초하여 상기 쿼리 시간 지표를 결정할 수 있다.

[0026] 상기 시간 지표 결정부는 상기 결정된 적어도 세 개의 벡터에 일정 비율을 각각 반영하고, 상기 일정 비율이 각각 반영된 적어도 세 개의 벡터를 기설정된 순서에 따라 가감 연산(덧셈 또는 뺄셈연산)하고, 상기 가감 연산된 결과를 상기 이력 메모리 데이터에 기초하여 결정된 벡터들 간의 시간 간격에 대한 일정 비율로 나눈 몫을 이용하여 상기 이력 메모리 데이터에 포함된 벡터들에 대한 상기 쿼리 시간 지표를 결정할 수 있다.

[0027] 상기 시간 커널 가중치 계산부는 상기 결정된 쿼리 시간 지표에 기반하여 상기 신호 데이터가 발생될 시간과 관련된 쿼리 벡터와 상기 신호 데이터에 의해 발생될 시간적 변화 및 범위적 변화와 관련된 벡터들의 집합을 행렬로 표현하는 이력 메모리 데이터 간의 시간 가중 거리 벡터들을 계산하고, 상기 계산된 시간 가중 거리 벡터들에 가우시안 커널 함수를 적용하여 상기 시간 커널 가중치를 계산할 수 있다.

[0028] 상기 양방향 커널 가중치 계산부는 상기 결정된 쿼리 시간 지표에 기반하여 상기 범위적 변화와 상기 시간적 변화가 다를 경우, 상기 범위 커널 가중치와 상기 시간 커널 가중치를 결합하여 상기 양방향 커널 가중치를 계산할 수 있다.

[0029] 상기 양방향 커널 가중치 계산부는 상기 결정된 쿼리 시간 지표에 기반하여 상기 범위적 변화와 상기 시간적 변화가 동일할 경우, 상기 범위 커널 가중치와 상기 시간 커널 가중치 간의 평균을 상기 양방향 커널 가중치로 계산할 수 있다.

[0030] 상기 검증부는 상기 신호 데이터와 상기 계산된 양방향 커널 가중치를 이용하여 상기 신호 데이터에 대한 예측 데이터 집합을 계산할 시, 상기 계산된 양방향 커널 가중치와 관련된 가우시안 커널 함수의 대역폭을 조정하여 상기 계산된 예측 데이터 집합에 대한 평균 제곱 에러를 감소시킬 수 있다.

[0031] 상기 검증부는 상기 계산된 예측 데이터 집합과 상기 신호 데이터 간의 차이에 대한 가우시안 분포를 이용하여 상기 공정 결함 여부를 결정하기 위한 임계값을 결정할 수 있다.

[0032] 상기 검증부는 상기 신호 데이터에 기반한 값이 상기 결정된 임계값보다 작을 경우, 상기 신호 데이터에 기반하여 상기 산업설비의 공정을 정상 상태(normal condition)로 결정하고, 상기 신호 데이터에 기반한 값이 상기 결정된 임계값보다 클 경우, 상기 신호 데이터에 기반하여 상기 산업설비의 공정을 결함 상태(fault condition)로 결정할 수 있다.

[0033] 본 발명의 일실시예에 따르면 온라인 신호 데이터 검증 방법은 범위 커널 가중치 계산부에서, 산업설비에 설치된 계측기에 의해 측정될 신호 데이터의 범위적 변화에 기초하여 상기 신호 데이터의 범위 커널 가중치를 계산

하는 단계, 시간 지표 결정부에서, 상기 신호 데이터의 시간적 변화와 관련된 쿼리 시간 지표를 결정하는 단계, 시간 커널 가중치 계산부에서, 상기 결정된 쿼리 시간 지표에 기초하여 상기 신호 데이터의 시간 커널 가중치를 계산하는 단계, 양방향 커널 가중치 계산부에서, 상기 계산된 범위 커널 가중치와 상기 계산된 시간 커널 가중치를 이용하여 상기 신호 데이터의 양방향 커널 가중치를 계산하는 단계 및 검증부에서, 상기 신호 데이터와 상기 계산된 양방향 커널 가중치를 이용하여 상기 산업설비의 공정 결함을 검증하는 단계를 포함할 수 있다.

[0034] 상기 범위 커널 가중치를 계산하는 단계는 상기 신호 데이터가 발생될 범위와 관련된 쿼리 벡터와 상기 신호 데이터에 의해 발생될 시간적 변화 및 범위적 변화와 관련된 벡터들의 집합을 행렬로 표현하는 이력 메모리 데이터 간의 거리 벡터들을 계산하는 단계 및 상기 계산된 거리 벡터들에 가우시안 커널 함수를 적용하여 상기 범위 커널 가중치를 계산하는 단계를 포함할 수 있다.

[0035] 상기 거리 벡터들을 계산하는 단계는 상기 이력 메모리 데이터에 포함된 벡터들 중 상기 범위와 관련된 벡터와 상기 범위 쿼리 벡터 간의 차이에 대한 절대값을 상기 거리 벡터들 중 어느 하나의 거리 벡터로 계산하는 단계를 포함할 수 있다.

[0036] 상기 신호 데이터의 시간적 변화와 관련된 쿼리 시간 지표를 결정하는 단계는 상기 신호 데이터에 의해 발생될 시간적 변화 및 범위적 변화와 관련된 벡터들의 집합을 행렬로 표현하는 이력 메모리 데이터에 포함된 벡터들 중 상기 신호 데이터가 발생될 시간과 관련된 쿼리 벡터와 시간 상 인접한 적어도 세 개의 벡터를 결정하는 단계; 및 상기 결정된 적어도 세 개의 벡터에 일정 비율을 각각 반영하고, 상기 일정 비율이 각각 반영된 적어도 세 개의 벡터를 기설정된 순서에 따라 가감 연산(덧셈 또는 뺄셈연산)하고, 상기 가감 연산된 결과를 상기 이력 메모리 데이터에 기초하여 결정된 벡터들 간의 시간 간격에 대한 일정 비율로 나눈 몫을 이용하여 상기 이력 메모리 데이터에 포함된 벡터들에 대한 상기 쿼리 시간 지표를 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0037] 본 발명의 일실시예에 따르면 온라인 신호 데이터 검증 방법은 상기 검증부에서, 상기 신호 데이터와 상기 계산된 양방향 커널 가중치를 이용하여 상기 신호 데이터에 대한 예측 데이터 집합을 계산할 시, 상기 계산된 양방향 커널 가중치와 관련된 가우시안 커널 함수의 대역폭을 조정하여 상기 계산된 예측 데이터 집합에 대한 평균 제곱 에러를 감소시키는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0038] 상기 신호 데이터와 상기 계산된 양방향 커널 가중치를 이용하여 상기 산업설비의 공정 결함을 검증하는 단계는 상기 계산된 예측 데이터 집합과 상기 신호 데이터 간의 차이에 대한 가우시안 분포를 이용하여 상기 공정 결함 여부를 결정하기 위한 임계값을 결정하는 단계, 상기 신호 데이터에 기반한 값이 상기 결정된 임계값보다 작을 경우, 상기 신호 데이터에 기반하여 상기 산업설비의 공정을 정상 상태(normal condition)로 결정하는 단계 및 상기 신호 데이터에 기반한 값이 상기 결정된 임계값보다 클 경우, 상기 신호 데이터에 기반하여 상기 산업설비의 공정을 결함 상태(fault condition)로 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

## *발명의 효과*

[0039] 본 발명은 가중 거리 자기 연상 양방향 커널 회귀 방법을 이용하여 산업설비의 과도 공정 동안 신호 데이터를 온라인으로 모니터링하여 산업설비의 공정 결함을 검증, 예측 및 추정할 수 있다.

[0040] 본 발명은 산업설비의 과도 공정에서 측정된 신호 데이터에 대한 공간 정보와 시간 정보를 모두 포착하여 양방향 커널 가중치를 계산할 수 있다.

[0041] 본 발명은 양방향 커널 가중치를 계산을 위해, 도함수를 이용하여 신호 데이터의 범위 정보에 기반하여 시간 정보의 시간 가중 거리를 계산할 수 있다.

[0042] 본 발명은 이력 메모리 데이터와 쿼리 입력의 시간적 상관 관계에 기반하여 데이터의 시간적 변화를 포착하고, 포착된 시간적 변화에 기반한 쿼리 시간 지표를 결정하여 시간 가중 거리를 계산할 수 있다.

[0043] 본 발명은 모델을 훈련하기 위한 이력 메모리 데이터와 검증 데이터 집합에 대한 예측의 평균 제곱 에러(mean square error, MSE)를 최소화함으로써 커널의 최적 대역폭을 식별하기 위한 검증 데이터를 그룹화할 수 있다.

[0044] 본 발명은 훈련에 사용된 이력 메모리 데이터와 획득된 최적의 대역폭 및 임계값을 사용하여 시스템의 온라인 상태를 모니터링하여 결함을 탐지할 수 있다.

## *도면의 간단한 설명*

[0045] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 온라인 신호 데이터 검증 장치를 설명하는 도면이다.

도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 온라인 신호 데이터 모니터링을 위한 프레임워크를 설명하는 도면이다.

도 3 및 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 온라인 신호 데이터 검증 방법을 설명하는 도면이다.

## *발명을 실시하기 위한 구체적인 내용*

[0046] 본 명세서에 개시되어 있는 본 발명의 개념에 따른 실시예들에 대해서 특정한 구조적 또는 기능적 설명들은 단지 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로서, 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 형태로 실시될 수 있으며 본 명세서에 설명된 실시예들에 한정되지 않는다.

[0047] 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 변경들을 가할 수 있고 여러 가지 형태들을 가질 수 있으므로 실시예들을 도면에 예시하고 본 명세서에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 특정한 개시형태들에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 변경, 균등물, 또는 대체물을 포함한다.

[0048] 제1 또는 제2 등의 용어를 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만, 예를 들어 본 발명의 개념에 따른 권리 범위로부터 이탈되지 않은 채, 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소는 제1 구성요소로도 명명될 수 있다.

[0049] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 구성요소들 간의 관계를 설명하는 표현들, 예를 들어 "~사이에"와 "바로~사이에" 또는 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.

[0050] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예들을 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 설시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함으로 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0051] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0052] 이하, 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다. 그러나, 특허출원의 범위가 이러한 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.

[0054] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 온라인 신호 데이터 검증 장치를 설명하는 도면이다.

[0055] 구체적으로, 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 온라인 신호 데이터 검증 장치의 구성 요소를 설명하는 도면이다.

[0056] 도 1을 참고하면, 온라인 신호 데이터 검증 장치(100)는 범위 커널 가중치 계산부(110), 시간 지표 결정부(120), 시간 커널 가중치 계산부(130), 양방향 커널 가중치 계산부(140) 및 검증부(150)를 포함한다.

[0057] 본 발명의 일실시예에 따르면 범위 커널 가중치 계산부(110)는 산업설비에 설치된 계측기에 의해 측정될 신호 데이터의 범위적 변화에 기초하여 신호 데이터의 범위 커널 가중치를 계산할 수 있다.

[0058] 예를 들어, 산업설비에 설치된 계측기에 의해 측정될 신호 데이터는 현재 계측기에 의해 측정된 쿼리 벡터를 포함할 수 있다.

[0059] 예를 들어, 범위적 변화는 신호 데이터가 발생되는 신호 간의 거리에 해당하는 공간적 차이뿐만 아니라 강도 거

리의 변화에 해당하는 범위 차이를 모두 포함할 수 있다.

[0060] 일례로, 범위 커널 가중치 계산부(110)는 신호 데이터가 발생될 범위와 관련된 쿼리 벡터와 신호 데이터에 의해 발생될 시간적 변화 및 범위적 변화와 관련된 벡터들의 집합을 행렬로 표현하는 이력 메모리 데이터 간의 거리 벡터들을 계산할 수 있다.

[0061] 여기서, 이력 메모리 데이터는 학습 모드에서 산업설비가 정상 동작하는 동안 측정된 벡터들의 집합을 행렬로 표현하는 것으로, 신호 데이터의 시간적 변화 및 범위적 변화를 모두 포함하고 있다.

[0062] 본 발명의 일실시예에 따르면 범위 커널 가중치 계산부(110)는 거리 벡터들에 가우시안 커널 함수를 적용하여 범위 커널 가중치를 계산할 수 있다.

[0063] 즉, 범위 커널 가중치 계산부(110)는 현재 입력되는 쿼리 벡터에 기반하여 계산된 거리에 특정 커널 대역폭의 가우시안 커널 함수를 적용하여 범위 커널 가중치를 계산할 수 있다.

[0064] 본 발명의 일실시예에 따르면 시간 지표 결정부(120)는 산업설비에 설치된 계측기에 의해 측정될 신호 데이터의 시간적 변화와 관련된 쿼리 시간 지표를 결정할 수 있다.

[0065] 일례로, 시간 지표 결정부(120)는 이력 메모리 데이터에 포함된 벡터들 중 신호 데이터가 발생될 시간과 관련된 쿼리 벡터와 시간 상 인접한 적어도 세 개의 벡터를 결정하고, 결정된 적어도 세 개의 벡터에 기초하여 쿼리 시간 지표를 결정할 수 있다.

[0066] 본 발명의 일실시예에 따르면 시간 지표 결정부(120)는 결정된 적어도 세 개의 벡터에 일정 비율을 각각 반영하고, 일정 비율이 각각 반영된 적어도 세 개의 벡터를 기설정된 순서에 따라 가감 연산(덧셈 또는 뺄셈연산)하고, 가감 연산된 결과를 이력 메모리 데이터에 기초하여 결정된 벡터들 간의 시간 간격에 대한 일정 비율로 나눈 몫을 이용하여 이력 메모리 데이터에 포함된 벡터들에 대한 쿼리 시간 지표를 결정할 수 있다.

[0067] 즉, 시간 지표 결정부(120)는 현재 입력되는 쿼리 벡터를 이용하여 이력 메모리 데이터의 시간적 변화를 포착하고, 시간 거리 측정 값 계산을 위한 쿼리 시간 지표를 결정할 수 있다.

[0068] 본 발명의 일실시예에 따르면 시간 커널 가중치 계산부(130)는 쿼리 시간 지표에 기초하여 현재 입력되는 신호 데이터의 시간 커널 가중치를 계산할 수 있다.

[0069] 일례로, 시간 커널 가중치 계산부(130)는 쿼리 시간 지표에 기반하여 신호 데이터가 발생될 시간과 관련된 쿼리 벡터와 신호 데이터에 의해 발생될 시간적 변화 및 범위적 변화와 관련된 벡터들의 집합을 행렬로 표현하는 이력 메모리 데이터 간의 시간 가중 거리 벡터들을 계산할 수 있다.

[0070] 여기서, 시간 가중 거리 벡터들은 쿼리 벡터가 관찰되는 시간을 나타낼 수 있으며, 쿼리 시간 입력을 사용하지 않고, 이력 메모리 데이터를 가진 쿼리 입력의 시간적 상관 관계를 계산하여 시간 가중 거리 벡터들이 계산될 수 있다.

[0071] 본 발명의 일실시예에 따르면 시간 커널 가중치 계산부(130)는 계산된 시간 가중 거리 벡터들에 가우시안 커널 함수를 적용하여 시간 커널 가중치를 계산할 수 있다.

[0072] 즉, 시간 커널 가중치 계산부(130)는 현재 입력되는 쿼리 벡터에 기반하여 계산된 시간 가중 거리에 특정 커널 대역폭의 가우시안 커널 함수를 적용하여 시간 커널 가중치를 계산할 수 있다.

[0073] 따라서, 본 발명은 이력 메모리 데이터와 쿼리 입력의 시간적 상관 관계에 기반하여 데이터의 시간적 변화를 포착하고, 포착된 시간적 변화에 기반한 쿼리 시간 지표를 결정하여 시간 가중 거리를 계산할 수 있다.

[0074] 본 발명의 일실시예에 따르면 양방향 커널 가중치 계산부(140)는 범위 커널 가중치와 시간 커널 가중치를 이용하여 신호 데이터의 양방향 커널 가중치를 계산할 수 있다.

[0075] 일례로, 양방향 커널 가중치 계산부(140)는 결정된 쿼리 시간 지표에 기반하여 범위적 변화와 시간적 변화가 다를 경우, 범위 커널 가중치와 시간 커널 가중치를 결합하여 양방향 커널 가중치를 계산할 수 있다.

[0076] 본 발명의 일실시예에 따르면 양방향 커널 가중치 계산부(140)는 결정된 쿼리 시간 지표에 기반하여 범위적 변화와 시간적 변화가 동일할 경우, 범위 커널 가중치와 시간 커널 가중치 간의 평균을 양방향 커널 가중치로 계산할 수 있다.

[0077] 일례로, 양방향 커널 가중치 계산부(140)는 산업설비의 공정에서 발생하는 결함의 크기에 따라 결과를 예측하기

위해 범위적 변화와 시간적 변화를 모두 고려한 양방향 커널 가중치를 계산할 수 있다.

[0078] 따라서, 본 발명은 산업설비의 과도 공정에서 측정된 신호 데이터에 대한 공간 정보와 시간 정보를 모두 포착하여 양방향 커널 가중치를 계산할 수 있다.

[0079] 본 발명의 일실시예에 따르면 검증부(150)는 신호 데이터와 계산된 양방향 커널 가중치를 이용하여 산업설비의 공정 결함을 검증할 수 있다.

[0080] 예를 들어, 검증부(150)는 신호 데이터와 양방향 커널 가중치를 이용하여 신호 데이터에 대한 예측 데이터 집합을 계산할 수 있다.

[0081] 또한, 검증부(150)는 학습 모드에서, 양방향 커널 가중치와 관련된 가우시안 커널 함수의 대역폭을 조정하여 예측 데이터 집합에 대한 평균 제곱 에러를 감소시킬 수 있다.

[0082] 즉, 검증부(150)는 학습 모드에서, 평균 제곱 에러를 감소시키는 대역폭을 미리 결정하고, 결정된 대역폭에 기반하여 양방향 커널 가중치를 계산하도록 유도하여 예측 데이터 집합에 대한 평균 제곱 에러를 감소시킬 수 있다.

[0083] 일례로, 검증부(150)는 학습 모드에서 결함 판정을 위한 임계값을 결정하고, 결정된 임계값에 기반하여 산업설비의 공정 결함을 판단할 수 있다.

[0084] 본 발명의 일실시예에 따르면 검증부(150)는 신호 데이터에 기반한 예측 값이 임계값보다 작을 경우, 신호 데이터에 기반하여 산업설비의 공정을 정상 상태(normal condition)로 결정할 수 있다.

[0085] 또한, 검증부(150)는 신호 데이터에 기반한 예측 값이 임계값보다 클 경우, 신호 데이터에 기반하여 산업설비의 공정을 결함 상태(fault condition)로 결정할 수 있다.

[0086] 따라서, 본 발명은 가중 거리 자기 연상 양방향 커널 회귀 방법을 이용하여 산업설비의 과도 공정 동안 신호 데이터를 온라인으로 모니터링하여 산업설비의 공정 결함을 검증, 예측 및 추정할 수 있다.

[0088] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 온라인 신호 데이터 모니터링을 위한 프레임워크를 설명하는 도면이다.

[0089] 도 2를 참고하면, 산업설비(200)에 설치된 계측기는 산업설비(200)의 공정에 따라 신호 데이터를 측정하고, 측정된 신호 데이터는 온라인 신호 데이터 검증 장치로 제공될 수 있다.

[0090] 온라인 신호 데이터 검증 방법은 오프라인 모드에 해당하는 단계(210) 내지 단계(220)를 수행할 수 있으며, 온라인 모드에 해당하는 단계(230) 내지 단계(239)를 수행할 수 있다.

[0091] 먼저, 오프라인 모드를 살펴보면, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 단계(210)에서 학습 모드의 이력 메모리 데이터를 생성하는 과정을 결정하고, 이력 메모리 데이터를 위한 신호 데이터를 수집한다.

[0092] 여기서, 수집된 이력 메모리 데이터는 수학식 1과 같이 표현될 수 있으며, p개의 프로세스 변수에 대해 이력 메모리 데이터의 행렬 X로 주어질 수 있다.

[0094] [수학식 1]

[0095]
$$X=\begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mp} \end{bmatrix}$$

[0097] 수학식 1에서, X는 이력 메모리 데이터의 행렬을 나타낼 수 있고, m은 이력 메모리 데이터 벡터의 개수를 나타낼 수 있으며, p는 프로세스 변수의 개수를 나타낼 수 있다.

[0098] 수학식 1에 기반하여 $\mathbf{X} \in \mathbb{R}^{m \times p}$는 m개의 관측 시퀀스 벡터를 갖는 p차원 변수 신호 행렬이고, $x_{mp}$는 p번째 프로세스 변수의 m번째 관측값일 수 있다.

[0099] 이력 메모리 데이터는 시계열을 고려하는데, 이것은 시간 순서대로 정렬된 관측 순서를 나타낼 수 있다.

[0100] 시간은 독립 변수이고 그것을 이산적인 것으로 가정하면, 시변 데이터는 시간($t_1<t_2<...<t_m$)에서 $(x_1,t_1)$, $(x_2,t_2),...,(x_m,t_m)$의 시퀀스를 나타내며, 여기서, $x_i$는 범위 공간에서의 데이터 포인트이고 $t_i$는 $x_i$이 발생한 시간을 나타낼 수 있다.

[0101] 또한, 둘 이상의 변수 신호에 대한 데이터는 샘플링 속도가 동일하면 시변 데이터 포인트의 연속이고, 정의를 사용하여, 수학식 1 같이 시변 데이터 집합 내의 시퀀스를 메모리 데이터 행렬을 나타낼 수 있다.

[0102] 또한, $\mathbf{x}_q \in \mathbb{R}^{1 \times p}$는 변수 신호의 p차원 벡터를 갖는 변수의 단일 관찰 값을 나타낼 수 있으며, 수학식 2와 같이 표현될 수 있다.

[0104] [수학식 2]

[0105] $$\mathbf{x}_q(t_q) = [x_{q1}\, x_{q2} \cdots\ x_{qp}]$$

[0107] 수학식 2에서, $x_q$는 단일 관찰 값을 나타내고, p는 프로세스 변수의 개수를 나타낼 수 있으며, $t_q$는 $x_q$가 관찰된 시점을 나타낼 수 있다.

[0108] 단계(211)에서 온라인 신호 데이터 검증 방법은 수집된 이력 메모리 데이터에 기반하여 범위적 변화와 관련된 거리 벡터를 계산하고, 단계(213)에서 계산된 거리 벡터를 이용하여 범위 커널 가중치를 계산한다.

[0109] 단계(211) 및 단계(213)의 계산 과정은 단계(231) 및 단계(233)에서 설명될 수학식 6 내지 수학식 9에 기반할 수 있다.

[0110] 단계(212)에서 온라인 신호 데이터 검증 방법은 수집된 이력 메모리 데이터에 기반하여 시간적 변화와 관련된 쿼리 시간 지표를 결정하고, 결정된 쿼리 시간 지표에 기반하여 시간적 변화와 관련된 시간 가중 거리 벡터를 계산할 수 있다.

[0111] 단계(214)에서 온라인 신호 데이터 검증 방법은 단계(212)에서 계산된 시간 가중 거리 벡터에 가우시안 커널 함수를 적용하여 시간 커널 가중치를 계산할 수 있다.

[0112] 단계(212) 및 단계(214)의 계산 과정은 단계(232) 및 단계(234)에서 설명될 수학식 10 내지 수학식 19에 기반할 수 있다.

[0113] 단계(215)에서 온라인 신호 데이터 검증 방법은 단계(213) 및 단계(214)에서 계산된 범위 커널 가중치와 시간 커널 가중치를 이용하여 양방향 커널 가중치를 계산한다. 단계(215)의 계산 과정은 단계(235)에서 설명될 수학식 20 내지 수학식 22에 기반할 수 있다.

[0114] 단계(216)에서 온라인 신호 데이터 검증 방법은 단계(215)에서 계산된 양방향 커널 가중치를 이용하여 공정 결함에 대한 예측을 수행하며, 예측은 단계(236)에서 설명될 수학식 23 내지 수학식 25에 기반할 수 있다.

[0115] 단계(217)에서 온라인 신호 데이터 검증 방법은 예측의 평균 제곱 에러를 최소화하는 대역폭을 결정을 할 수 있다.

[0116] 즉, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 수학식 3을 이용하여 예측의 평균 제곱 에러를 최소화하는 대역폭을 식별할 수 있다.

[0118] [수학식 3]

[0119] $$\min_{[h_f,h_t]}\left(\frac{1}{(p*m)}\sum_{j=1}^{p}\sum_{i=1}^{N}(x_{ij}-\hat{x}_{ij})^2\right)$$

[0121] 수학식 3에 따르면, $h_f$ 및 $h_t$는 최적의 대역폭 매개 변수를 나타낼 수 있고, m은 이력 메모리 데이터 벡터의 개수를 나타낼 수 있으며, p는 프로세스 변수의 개수를 나타낼 수 있고, N은 관측값의 개수를 나타낼 수 있고, i는 관측값의 순서 j는 프로세스 변수의 순서를 나타낼 수 있다.

[0122] 즉, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 오프라인 모드를 수행할 경우, 이력 메모리 데이터를 이용하며, 학습 모드에서 수집된 이력 메모리 데이터와 검증 데이터 집합에 대한 예측의 평균 제곱 에러를 최소화함으로써 양방향 커널 가중치를 계산하기 위한 커널의 최적 대역폭을 식별할 수 있다.

[0123] 또한, 본 발명은 모델을 훈련하기 위한 이력 메모리 데이터와 검증 데이터 집합에 대한 예측의 평균 제곱 에러(mean square error, MSE)를 최소화함으로써 커널의 최적 대역폭을 식별하기 위한 검증 데이터를 그룹화할 수 있다.

[0124] 단계(218)에서 온라인 신호 데이터 검증 방법은 예측의 평균 제곱 에러를 최소화하는 대역폭을 수학식 3에 기반하여 검증하고, 최소화된 경우 단계(220)으로 진행하고, 아닐 경우, 단계(219)에서 온라인 신호 데이터 검증 방법은 결정된 대역폭에 따라 대역폭을 정정하여 단계(215)에서 양방향 커널 가중치를 계산에 활용되는 가우시안 커널 함수의 대역폭으로 결정할 수 있다.

[0125] 단계(220)에서 온라인 신호 데이터 검증 방법은 결함 여부를 결정하기 위한 임계값을 결정할 수 있다.

[0126] 즉, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 수학식 4를 이용하여 결함 여부를 결정하기 위한 임계값을 결정할 수 있다.

[0128] [수학식 4]

[0129] $$RMSE_j=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_{ij}-\hat{x}_{ij})^2}=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}e_{ij}^2}$$

[0131] 수학식 4에서, $RMSE_j$는 결함 검출을 위한 잔차를 나타낼 수 있고, N은 관측값의 개수를 나타낼 수 있고, i는 관측값의 순서 j는 프로세스 변수의 순서를 나타낼 수 있으며, $e_{ij}$는 실제 값과 이력 메모리 데이터의 집합으로부터 예측된 값 사이의 잔차를 나타낼 수 있다.

[0132] 예를 들어, 신호 데이터에 기반한 값은 이력 메모리 데이터의 집합으로부터 예측된 값 사이의 잔차에 상응할 수 있다.

[0133] 또한, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 각 변수의 결함 감지에 대한 허용 한계를 수학식 5를 이용하여 결정할 수 있다.

[0135] [수학식 5]

[0136] $$T_j^D=3*RMSE_j$$

[0138] 수학식 5에서, $T_j^D$ 는 결함 허용 한계에 해당하는 임계값을 나타낼 수 있고, $RMSE_j$는 결함 검출을 위한 잔차를

나타낼 수 있다.

[0139] 잔차는 평균이 0이며, 분산이 $RMSE_j$의 제곱값의 가우시안 분포로 가정할 수 있으며, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 오경보율을 최소화하고 잔차가 임계값을 초과할 때 결함이 탐지되도록 설정할 수 있다.

[0140] 즉, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 신호 데이터에 기반한 값이 임계값보다 작을 경우, 신호 데이터에 기반하여 산업설비의 공정을 정상 상태(normal condition)로 결정하고, 신호 데이터에 기반한 값이 임계값보다 클 경우, 신호 데이터에 기반하여 산업설비의 공정을 결함 상태(fault condition)로 결정할 수 있다.

[0141] 또한, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 단계(217) 및 단계(218)에 의해 결정된 예측의 평균 제곱 에러를 최소화하는 대역폭을 단계(221)를 통하여 단계(235)로 전달할 수 있다.

[0142] 또한, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 단계(220)에서 결정된 임계값을 단계 (222)를 통하여 단계(237)로 제공할 수 있다.

[0143] 본 발명의 일실시예에 따르면 온라인 신호 데이터 검증 방법은 온라인 모드에 해당하는 단계(230) 내지 단계(239)를 수행할 수 있다.

[0144] 단계(230)에서 온라인 신호 데이터 검증 방법은 온라인 모드로 구동하되, 특정 시점에 계측기로부터 쿼리 벡터에 해당하는 신호 데이터를 수신한다.

[0145] 단계(231)에서 온라인 신호 데이터 검증 방법은 수학식 6 및 수학식 7을 이용하여 범위 거리 벡터를 계산한다.

[0146] 즉, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 현재 입력되는 쿼리 벡터에 대하여 범위 거리 벡터를 계산한다.

[0148] [수학식 6]

[0149]
$$d_i(\mathbf{X}_i,\mathbf{x}_q) = \| \mathbf{X}_i - \mathbf{x}_q \|_2 = \sqrt{\sum_{j=1}^{p}(x_{ij} - x_{qj})^2}$$

[0151] 수학식 6에서, $d_i$는 범위 거리를 나타낼 수 있고, X는 이력 메모리 데이터의 행렬을 나타낼 수 있으며, i는 관측값을 나타낼 수 있고, j는 프로세스 변수를 나타낼 수 있으며, q는 쿼리 벡터를 나타낼 수 있고, p는 프로세스 변수의 개수를 나타낼 수 있다.

[0152] 또한, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 단일 쿼리 벡터의 경우, 수학식 6의 계산은 m개의 메모리 벡터 각각에 대해 반복되므로 거리 벡터는 $\mathbf{d} \in \mathbb{R}^{m \times 1}$가 될 수 있어, 수학식 7을 계산할 수 있다.

[0154] [수학식 7]

[0155]
$$\mathbf{d} = [d_1\ d_2 \cdots\ d_m]^T$$

[0157] 수학식 7에서, d는 범위 거리를 나타내고, m은 범위 거리 벡터의 개수를 나타낼 수 있으며, T는 거리 함수 중 맨해튼 거리 함수와 관련될 수 있다.

[0158] 여기서, 맨해튼 거리 함수는 공정 결함의 발생을 억제하는 거리 함수 중 하나일 수 있다.

[0159] 단계(233)에서 온라인 신호 데이터 검증 방법은 수학식 6 및 수학식 7을 이용하여 계산된 범위 거리 벡터에 수학식 8 및 수학식 9를 이용하여 범위 커널 가중치를 계산한다.

[0161] [수학식 8]

[0162] $$k_i^f = \exp\left(\frac{-d_i^2}{2h_f^2}\right)$$

[0164] 수학식 8에서, k는 범위 커널 가중치를 나타낼 수 있고, i는 관측값을 나타낼 수 있으며, f는 범위 요소를 나타낼 수 있고, $d_i$는 범위 거리를 나타낼 수 있으며, $h_f$는 범위 보존을 위한 커널 대역폭을 나타낼 수 있다.

[0166] [수학식 9]

[0167] $$\mathbf{k}^f = [k_1^f\, k_2^f \cdots\ k_m^f]^T$$

[0169] 수학식 9에 따르면, $k^f$는 범위 커널 가중치의 집합을 나타낼 수 있으며, m은 범위 거리 벡터의 개수를 나타낼 수 있으며, T는 거리 함수 중 맨해튼 거리 함수와 관련될 수 있다.

[0170] 단계(232)에서 온라인 신호 데이터 검증 방법은 수학식 10 내지 수학식 15를 이용하여 쿼리 시간 지표를 결정할 수 있다.

[0171] 즉, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 이력 메모리 데이터의 시간적 변화를 포착하여 시간 가중 거리 측정값을 계산하고, 시간 가중 거리는 쿼리 벡터가 관찰되는 시간과 관련될 수 있다.

[0172] 따라서, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 쿼리 시간 입력을 사용하지 않고 이력 메모리 데이터에서 쿼리 벡터의 입력에 따른 시간적 변화에 대한 상관 관계를 계산할 수 있다.

[0173] 또한, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 온라인 모니터링에 시간적 변화가 적용될 시, 무기한으로 시간이 입력되는 경우를 배제하고, 이력 메모리 데이터의 지속 시간 내에 쿼리 벡터의 시간 입력에 따른 영향을 제한할 수 있다.

[0174] 먼저, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 수학식 1에 해당하는 이력 메모리 데이터를 원소 별로 미분하여 수학식 10을 계산할 수 있다.

[0176] [수학식 10]

[0177] $$\frac{\partial \mathbf{X}}{\partial t} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x_{11}}{\partial t} & \frac{\partial x_{12}}{\partial t} & \cdots & \frac{\partial x_{1p}}{\partial t} \\ \frac{\partial x_{21}}{\partial t} & \frac{\partial x_{22}}{\partial t} & \cdots & \frac{\partial x_{2p}}{\partial t} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial x_{m1}}{\partial t} & \frac{\partial x_{m2}}{\partial t} & \cdots & \frac{\partial x_{mp}}{\partial t} \end{bmatrix}$$

[0179] 수학식 10에서, X는 이력 메모리 데이터의 행렬을 나타낼 수 있고, m은 이력 메모리 데이터 벡터의 개수를 나타낼 수 있으며, p는 프로세스 변수의 개수를 나타낼 수 있고, t는 스칼라 매개 변수 시간을 나타낼 수 있다.

[0180] 다음으로, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 $\mathbf{x}_q \in \mathbb{R}^{1\times p}$를 쿼리 입력 벡터로 가정하여, 각 성분이 스칼라 매개 변수로 시간 t의 함수에 대한 데이터 샘플로 쿼리 벡터($x_q$)의 1Xp 벡터인 수학식 11을 계산할 수 있다.

[0182] [수학식 11]

[0183] $$\frac{\partial \mathbf{X}_q}{\partial t} = \left[ \frac{\partial x_{q1}}{\partial t} \; \frac{\partial x_{q2}}{\partial t} \cdots \frac{\partial x_{qp}}{\partial t} \right]$$

[0185] 수학식 11에서, $x_q$는 쿼리 벡터로 단일 관찰 값을 나타내고, p는 프로세스 변수의 개수를 나타낼 수 있으며, t는 스칼라 매개 변수 시간을 나타낼 수 있다.

[0186] 또한, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 수학식 11의 도함수를 유한 차분 미분 근사법을 이용하여 데이터 자체로부터 근사화할 수 있으며, 데이터 포인트 $x_{ij}$에서 3 개의 데이터 포인트 정확도에 기초한 1차 후방 차분 미분 근사를 수학식 12와 같이 계산할 수 있다.

[0188] [수학식 12]

[0189] $$\frac{\partial x_{ij}}{\partial t} = \frac{3x_{i,j} - 4x_{i-1,j} + x_{i-2,j}}{2\eta}$$

[0191] 수학식 12에서, $x_{ij}$는 쿼리 벡터에 해당하는 관측값을 나타낼 수 있고, $x_{i-1,j}$ 및 $x_{i-2,j}$는 다음 순서의 관측값을 나타낼 수 있으며, $\eta$은 이력 메모리 데이터 내의 벡터 들 간의 시간 간격을 나타낼 수 있다.

[0192] 다음으로, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 수학식 10 및 수학식 11에 맨허튼 거리 함수를 적용하여 수학식 13을 계산할 수 있다.

[0194] [수학식 13]

[0195] $$\triangle_i = \left\| \frac{\partial \mathbf{X}_i}{\partial t} - \frac{\partial \mathbf{X}_q}{\partial t} \right\|_1 = \sum_{j=1}^{p} \left| \frac{\partial x_{ij}}{\partial t} - \frac{\partial x_{qj}}{\partial t} \right|$$

[0197] 수학식 13에서, $\triangle_i$는 i의 미분 거리 벡터를 나타낼 수 있고, $X_i$는 이력 메모리 데이터의 i를 나타낼 수 있으며, $X_q$는 이력 메모리 데이터에서 쿼리 벡터에 상응하는 벡터 값을 나타낼 수 있다.

[0198] 또한, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 수학식 13에 기반하여 수학식 14와 같이 미분 거리 벡터를 계산할 수 있다.

[0200] [수학식 14]

[0201] $$\mathbf{\Delta} = [\triangle_1 \; \triangle_2 \cdots \; \triangle_m]^T$$

[0203] 수학식 14에서, $\Delta$는 미분 거리 벡터를 나타낼 수 있고, m은 이력 메모리 데이터 벡터의 개수를 나타낼 수 있다.

[0204] 또한, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 수학식 14의 최소값을 이용하여 $\triangle_i$의 지표 $i=\varepsilon$를 계산할 수 있으며, 여

기에서 $\Delta_i$는 쿼리 입력 벡터와 시간 상 가장 가까운 이력 메모리 데이터 내 벡터의 위치를 나타낼 수 있다.

[0205] 온라인 신호 데이터 검증 방법은 쿼리 입력 벡터의 미분과 메모리 데이터의 미분 벡터 간의 맨해튼 거리가 최소가 되는 지표는 하기 수학식 15와 같이 계산할 수 있다.

[0207] [수학식 15]

[0208]
$$\epsilon = \arg\min_{i \in [1,m]} (\Delta_i)$$

[0210] 수학식 15에서, ε는 맨해튼 거리가 최소가 되는 지표를 나타낼 수 있고, $\Delta_i$ 미분 거리 벡터를 나타낼 수 있으며, i는 쿼리 벡터의 관측값을 나타낼 수 있고, m은 이력 메모리 데이터 벡터의 개수를 나타낼 수 있다.

[0211] 또한, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 수학식 16 및 수학식 17을 이용하여 쿼리 시간 지표에 기반한 시간 가중 거리를 계산할 수 있다.

[0213] [수학식 16]

[0214]
$$\delta_i = \begin{cases} \delta_\epsilon, & i = \epsilon \\ \delta_\epsilon + (i-\epsilon) \cdot \eta & i > \epsilon \& \epsilon \neq m \\ \delta_\epsilon + (\epsilon - i) \cdot \eta & i < \epsilon \& \epsilon \neq 1 \end{cases} \quad ; \quad i \in [1,m]$$

[0216] 수학식 16에서, $\delta$는 시간 가중 거리를 나타낼 수 있고, ε는 맨해튼 거리가 최소가 되는 지표를 나타낼 수 있으며, i는 쿼리 벡터의 관측값을 나타낼 수 있고, m은 이력 메모리 데이터 벡터의 개수를 나타낼 수 있으며, $\eta$은 이력 메모리 데이터 내의 벡터 들 간의 시간 간격을 나타낼 수 있다.

[0217] 또한, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 수학식 17과 같이 시간 가중 거리 벡터인 $\boldsymbol{\delta} \in \mathbb{R}^{m \times 1}$를 나타낼 수 있다.

[0219] [수학식 17]

[0220]
$$\boldsymbol{\delta} = [\delta_1 \cdots \delta_{\epsilon-1} \delta_\epsilon \delta_{\epsilon+1} \delta_{\epsilon+2} \cdots \delta_m]^T$$

[0222] 수학식 17에서, $\delta$는 시간 가중 거리를 나타낼 수 있고, ε는 맨해튼 거리가 최소가 되는 지표를 나타낼 수 있으며, m은 이력 메모리 데이터 벡터의 개수를 나타낼 수 있다.

[0223] 본 발명의 일실시예에 따르면 온라인 신호 데이터 검증 방법은 단계(234)에서 수학식 18 및 수학식 19에 기반하여 시간 커널 가중치를 계산할 수 있다.

[0225] [수학식 18]

[0226] $$k_i^t = \exp\left(\frac{-\delta_i^2}{2h_t^2}\right)$$

[0228] 수학식 18에서, k는 범위 커널 가중치를 나타낼 수 있고, i는 관측값을 나타낼 수 있으며, f는 범위 요소를 나타낼 수 있고, t는 시간 가중 거리를 나타낼 수 있으며, $h_t$는 시간 보존을 위한 커널 대역폭을 나타낼 수 있다.

[0230] [수학식 19]

[0231] $$\mathbf{k}^t = [k_1^t\, k_2^2 \cdots\ k_m^t]^T$$

[0233] 수학식 19에 따르면, $k^t$는 시간 커널 가중치의 집합을 나타낼 수 있으며, m은 범위 거리 벡터의 개수를 나타낼 수 있으며, T는 거리 함수 중 맨해튼 거리 함수와 관련될 수 있다.

[0234] 본 발명의 일실시예에 따르면 온라인 신호 데이터 검증 방법은 단계(235)에서 수학식 20 및 수학식 21에 기반하여 양방향 커널 가중치를 계산할 수 있다.

[0235] 온라인 신호 데이터 검증 방법은 수학식 9와 수학식 19를 결합하여 양방향 커널 가중치를 수학식 20과 같이 계산할 수 있다.

[0237] [수학식 20]

[0238] $$k_i^b = k_i^f * k_i^t$$

[0240] 수학식 20에서, $k^b$는 양방향 커널 가중치를 나타낼 수 있고, $k^f$는 범위 커널 가중치를 나타낼 수 있으며, $k^t$는 시간 커널 가중치를 나타낼 수 있고, i는 관측 지점을 나타낼 수 있다.

[0241] 또한, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 수학식 20의 양방향 커널 가중치에 대하여 $\mathbf{k}^b \in \mathbb{R}^{m\times 1}$의 양방향 커널 벡터를 수학식 21과 같이 계산할 수 있다.

[0243] [수학식 21]

[0244] $$\mathbf{k}^b = [k_1^b\, k_2^b \cdots\ k_m^b]^T$$

[0246] 수학식 21에 따르면, $k^b$는 양방향 커널 가중치의 집합을 나타낼 수 있으며, m은 범위 거리 벡터의 개수를 나타낼 수 있으며, T는 거리 함수 중 맨해튼 거리 함수와 관련될 수 있다.

[0247] 본 발명의 일실시예에 따른 온라인 신호 데이터 검증 방법은 결함의 크기에 따라 범위 및 시간에 강인한 예측 모델 설계를 위해 다른 신호에 미치는 영향을 줄이도록 수학식 20을 수학식 22와 같이 재구성할 수 있다.

[0249] [수학식 22]

$$k_i^b = \begin{cases} k_i^f * k_i^t, & 1 \le i \le m \ \& \ i \neq \epsilon \\ \dfrac{(k_i^f + k_i^t)}{2}, & i = \epsilon \end{cases} \quad ; \quad i \in [1, m]$$

[0250]

[0252] 수학식 22에서, $k^b$는 양방향 커널 가중치를 나타낼 수 있고, $k^f$는 범위 커널 가중치를 나타낼 수 있으며, $k^t$는 시간 커널 가중치를 나타낼 수 있고, i는 관측 지점을 나타낼 수 있으며, ε는 맨해튼 거리가 최소가 되는 지표를 나타낼 수 있고, m은 이력 메모리 데이터 벡터의 개수를 나타낼 수 있다.

[0253] 즉, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 범위적 변화와 시간적 변화가 다를 경우, 범위 커널 가중치와 시간 커널 가중치를 결합하여 양방향 커널 가중치를 계산하고, 범위적 변화와 시간적 변화가 같을 경우, 범위 커널 가중치와 시간 커널 가중치의 평균을 양방향 커널 가중치로 계산할 수 있다.

[0254] 단계(236)에서 온라인 신호 데이터 검증 방법은 입력된 쿼리 벡터와 양방향 커널 가중치를 결합하여 결함을 예측한다.

[0255] 예를 들어, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 수학식 23 내지 수학식 25를 이용하여 입력된 쿼리 벡터와 관련된 공정의 결함을 예측할 수 있다.

[0256] 즉, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 쿼리 벡터와 양방향 커널 가중치를 결합하여 하기 수학식 23을 계산할 수 있다.

[0258] [수학식 23]

$$\hat{x}_{qj} = \frac{\sum_{i=1}^{m} k_i^b \cdot x_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} k_i^b}$$

[0259]

[0261] 수학식 23에서, $\hat{x}_{qj}$는 결함 예측값을 나타낼 수 있고, $x_{ij}$는 이력 메모리 데이터의 벡터값을 나타낼 수 있으며, i는 관측 지점을 나타낼 수 있고, $k^b$는 양방향 커널 가중치를 나타낼 수 있으며, m은 이력 메모리 데이터 벡터의 개수를 나타낼 수 있다.

[0262] 온라인 신호 데이터 검증 방법은 결함 예측값에 대한 스칼라 값을 수학식 24와 같이 정의할 수 있다.

[0264] [수학식 24]

$$a = \sum_{i=1}^{m} k_i^b$$

[0265]

[0267] 수학식 24에서, a는 스칼라 값을 나타낼 수 있고, i는 관측 지점을 나타낼 수 있으며, $k^b$는 양방향 커널 가중치를 나타낼 수 있고, m은 이력 메모리 데이터 벡터의 개수를 나타낼 수 있다.

[0268] 또한, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 모든 변수를 동시에 예측하기 위해 수학식 23을 수학식 25와 같이 행렬 형태로 재구성할 수 있다.

[0270] [수학식 25]

[0271] $$\hat{\mathrm{x}}_q = \frac{\mathrm{k}^{b^T}\mathrm{X}}{a}$$

[0273] 수학식 25에서, $\hat{\mathrm{x}}_q$는 결함 예측값을 나타낼 수 있고, $\mathrm{k}^b$는 양방향 커널 가중치를 나타낼 수 있으며, X는 행렬 데이터를 나타낼 수 있고, a는 스칼라 값을 나타낼 수 있다.

[0274] 단계(237)에서 온라인 신호 데이터 검증 방법은 임계값과 비교하여 결함을 결정할 수 있으며, 단계(238)에서 결함으로 판단할 경우 단계(239)로 진행하여 알람을 발생시키고, 결함이 아닐 경우, 단계(230)로 진행하여 새로운 쿼리 벡터를 수신한다.

[0275] 예를 들어, 단계(237) 및 단계(238)에서 온라인 신호 데이터 검증 방법은 수학식 4와 수학식 5에 의해 결정된 임계값을 이용하는데, 비교 기준은 하기 수학식 26과 같이 표현될 수 있다.

[0277] [수학식 26]

[0278] $$\begin{cases} H_0 : |e_{qj}| \le T_j^D & \Rightarrow Normal\ \ Condition \\ H_1 : |e_{qj}| > T_j^D & \Rightarrow Fault\ \ Condition \end{cases}$$

[0280] 수학식 26에서, $e_{qj}$는 판단 대상인 예측 잔차를 나타낼 수 있고, $T_j^D$는 임계값을 나타낼 수 있다.

[0281] 따라서, 본 발명은 훈련에 사용된 이력 메모리 데이터와 획득된 최적의 대역폭 및 임계값을 사용하여 시스템의 온라인 상태를 모니터링하여 결함을 탐지할 수 있다.

[0283] 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 온라인 신호 데이터 검증 방법을 설명하는 도면이다.

[0284] 구체적으로, 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 온라인 신호 데이터 검증 방법이 산업설비의 공정 결함을 판단하는 절차를 예시한다.

[0285] 도 3을 참고하면, 단계(301)에서 온라인 신호 데이터 검증 방법은 범위 커널 가중치를 계산할 수 있다.

[0286] 즉, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 산업설비에 설치된 계측기에 의해 측정될 신호 데이터의 범위적 변화에 기초하여 신호 데이터의 범위 커널 가중치를 계산할 수 있다.

[0287] 예를 들어, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 측정될 신호 데이터에 해당하는 쿼리 벡터와 학습모드에서 미리 수집된 벡터들의 집합이자 발생될 시간적 변화 및 범위적 변화와 관련된 벡터들의 집합을 행렬로 표현하는 이력 메모리 데이터 간의 거리를 계산하고, 계산된 거리에 가우시안 커널 함수를 적용하여 범위 커널 가중치를 계산할 수 있다.

[0288] 단계(302)에서 온라인 신호 데이터 검증 방법은 쿼리 시간 지표를 결정할 수 있다.

[0289] 즉, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 신호 데이터의 시간적 변화와 관련된 쿼리 시간 지표를 결정할 수 있다.

[0290] 예를 들어, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 신호 데이터에 의해 발생될 시간적 변화 및 범위적 변화와 관련된 벡터들의 집합을 행렬로 표현하는 이력 메모리 데이터에 포함된 벡터들 중 신호 데이터가 발생될 시간과 관련된 쿼리 벡터와 시간 상 인접한 적어도 세 개의 벡터를 결정하여, 쿼리 벡터가 순차적으로 변화할 시간적 변화를 나타내는 쿼리 시간 지표를 결정할 수 있다.

[0291] 단계(303)에서 온라인 신호 데이터 검증 방법은 시간 커널 가중치를 계산할 수 있다.

[0292] 즉, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 쿼리 시간 지표에 기초하여 상기 신호 데이터의 시간 커널 가중치를 계산할 수 있다.

[0293] 예를 들어, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 결정된 쿼리 시간 지표에 기반하여 신호 데이터가 발생될 시간과 관련된 쿼리 벡터와 신호 데이터에 의해 발생될 시간적 변화 및 범위적 변화와 관련된 벡터들의 집합을 행렬로 표현하는 이력 메모리 데이터 간의 시간 가중 거리 벡터들을 계산하고, 계산된 시간 가중 거리 벡터들에 가우시안 커널 함수를 적용하여 시간 커널 가중치를 계산할 수 있다.

[0294] 단계(304)에서 온라인 신호 데이터 검증 방법은 양방향 커널 가중치를 계산할 수 있다.

[0295] 즉, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 범위 커널 가중치와 시간 커널 가중치를 이용하여 산업설비에 설치된 계측기에 의해 측정될 신호 데이터의 양방향 커널 가중치를 계산할 수 있다.

[0296] 단계(305)에서 온라인 신호 데이터 검증 방법은 공정 결함을 검증할 수 있다.

[0297] 즉, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 신호 데이터와 계산된 양방향 커널 가중치를 결합하여 신호 데이터에 기반하여 산업설비의 공정 결함을 검증할 수 있다.

[0299] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 온라인 신호 데이터 검증 방법을 설명하는 도면이다.

[0300] 구체적으로, 도 4는 온라인 신호 데이터 검증 방법이 학습 모드와 검증 모드를 구분하여 수행하는 절차를 예시하며, 학습 모드는 오프라인 모드에 상응하고, 검증 모드는 온라인 모드에 상응할 수 있다.

[0301] 도 4를 참고하면, 단계(401)에서 온라인 신호 데이터 검증 방법은 학습 모드의 진행 여부를 결정할 수 있다. 온라인 신호 데이터 검증 방법은 학습 모드일 경우 단계(410)로 진행하고, 학습 모드가 아닐 경우, 단계(420)로 진행하여 검증 모드를 수행할 수 있다.

[0302] 단계(410)에서 온라인 신호 데이터 검증 방법은 이력 메모리 데이터를 수집한다.

[0303] 즉, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 산업설비로부터 공정 변수에 대하여 복수의 관측값을 포함하도록 이력 메모리 데이터를 수집할 수 있으며, 이력 메모리 데이터는 행렬 데이터로 기록될 수 있다.

[0304] 단계(411)에서 온라인 신호 데이터 검증 방법은 양방향 커널 가중치를 계산할 수 있다.

[0305] 즉, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 단계(410)에서 수집된 이력 메모리 데이터를 이용하여 범위 커널 가중치 및 시간 커널 가중치를 계산하고, 계산된 범위 커널 가중치 및 시간 커널 가중치를 이용하여 양방향 커널 가중치를 계산할 수 있다.

[0306] 단계(412)에서 온라인 신호 데이터 검증 방법은 계산된 양방향 커널 가중치를 이용하여 이력 메모리 데이터에 기반한 결함을 예측할 수 있다.

[0307] 단계(413)에서 온라인 신호 데이터 검증 방법은 예측의 평균 제곱 에러를 최소화하는 대역폭을 결정할 수 있다.

[0308] 즉, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 단계(412)에서의 예측 결과에 기반하여 양방향 커널 가중치를 결정하기 위한 커널 함수의 대역폭을 결정하되, 결정된 대역폭은 평균 제곱 에러를 최소화하는 대역폭일 수 있다.

[0309] 또한, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 결정된 대역폭을 검증 모드에서 양방향 커널 가중치를 계산하기 위한 가우시안 커널 함수의 대역폭으로 이용되도록 대역폭을 저장하고, 검증 모드에서 이용할 수 있다.

[0310] 단계(414)에서 온라인 신호 데이터 검증 방법은 결함 판정을 위한 임계값을 결정할 수 있다.

[0311] 즉, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 단계(412)에서의 예측 결과에 기반하여 임계값을 결정하고, 결정된 임계값을 저장하여 검증 모드에서 이용할 수 있다.

[0312] 단계(420)에서 온라인 신호 데이터 검증 방법은 산업설비의 계측기에 의해 신호 데이터를 측정하고, 측정된 신호 데이터를 쿼리 벡터로 입력할 수 있다.

[0313] 단계(421)에서 온라인 신호 데이터 검증 방법은 범위 커널 가중치를 계산할 수 있다.

[0314] 즉, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 단계(420)에서 입력된 쿼리 벡터의 범위적 변화에 기초하여 신호 데이터의

범위 커널 가중치를 계산할 수 있다.

[0315] 단계(422)에서 온라인 신호 데이터 검증 방법은 온라인 신호 데이터 검증 방법은 쿼리 시간 지표를 결정할 수 있다.

[0316] 즉, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 쿼리 벡터에 기반하여 학습 모드에서 수집된 이력 메모리 데이터의 시간적 변화를 확인하고, 확인된 시간적 변화와 관련된 쿼리 시간 지표를 결정할 수 있다.

[0317] 단계(423)에서 온라인 신호 데이터 검증 방법은 시간 커널 가중치를 계산할 수 있다.

[0318] 즉, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 쿼리 시간 지표에 기초하여 상기 신호 데이터의 시간 커널 가중치를 계산할 수 있다.

[0319] 단계(424)에서 온라인 신호 데이터 검증 방법은 양방향 커널 가중치를 계산할 수 있다.

[0320] 즉, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 단계(421)에서 계산된 범위 커널 가중치와 단계(423)에서 계산된 시간 커널 가중치를 이용하여 양방향 커널 가중치를 계산하되, 양방향 커널 가중치를 계산하기 위한 가우시안 커널 함수의 대역폭은 단계(413)에서 결정된 대역폭을 이용할 수 있다.

[0321] 단계(425)에서 온라인 신호 데이터 검증 방법은 결함을 예측할 수 있다.

[0322] 즉, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 온라인 신호 데이터 검증 방법은 신호 데이터와 계산된 양방향 커널 가중치를 결합하여 신호 데이터에 기반하여 산업설비의 공정 결함을 검증할 수 있다.

[0323] 단계(426)에서 온라인 신호 데이터 검증 방법은 신호 데이터와 계산된 양방향 커널 가중치가 결합된 값과 임계값을 비교하여 공정 결함 여부를 결정할 수 있다.

[0324] 예를 들어, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 신호 데이터에 기반한 예측 값이 결정된 임계값보다 클 경우, 신호 데이터에 기반하여 산업설비의 공정을 결함 상태(fault condition)로 결정하고 해당 절차를 종료할 수 있다.

[0325] 한편, 온라인 신호 데이터 검증 방법은 신호 데이터에 기반한 예측 값이 임계값보다 작을 경우, 신호 데이터에 기반하여 산업설비의 공정을 정상 상태(normal condition)로 결정하고, 단계(420)로 진행하여 새로운 쿼리 벡터를 입력 받을 수 있다. 여기서, 임계값은 단계(414)에서 결정된 임계값일 수 있다.

[0327] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성요소는, 예를 들어, 프로세서, 콘트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPA(field programmable array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 콘트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.

[0328] 실시예에 따른 방법은 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 실시예를 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(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. 상기된 하드웨어 장치는 실시예의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도

록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[0329] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 가상 장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치, 또는 전송되는 신호 파(signal wave)에 영구적으로, 또는 일시적으로 구체화(embody)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.

[0330] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

[0331] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

## *부호의 설명*

[0332] 100: 온라인 신호 데이터 검증 장치

110: 범위 커널 가중치 계산부

120: 시간 지표 결정부

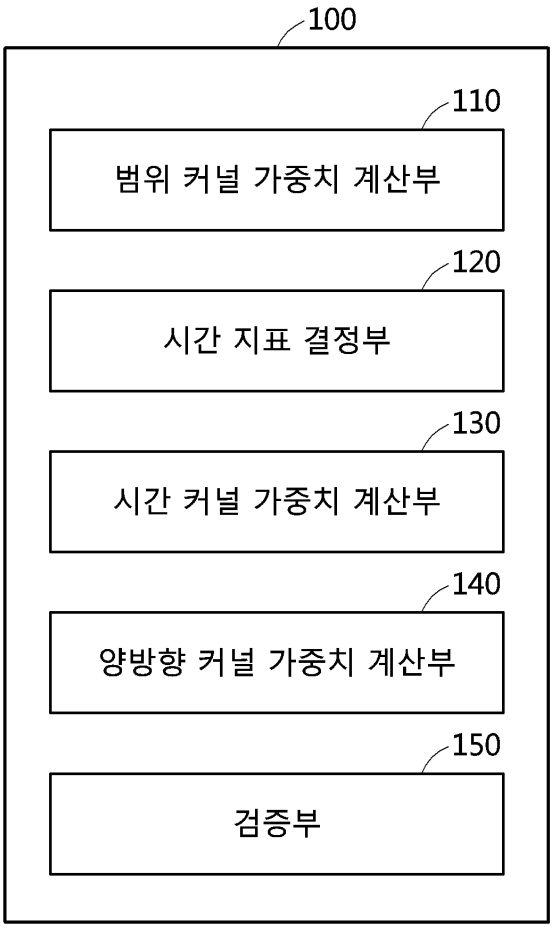
130: 시간 커널 가중치 계산부

140: 양방향 커널 가중치 계산부

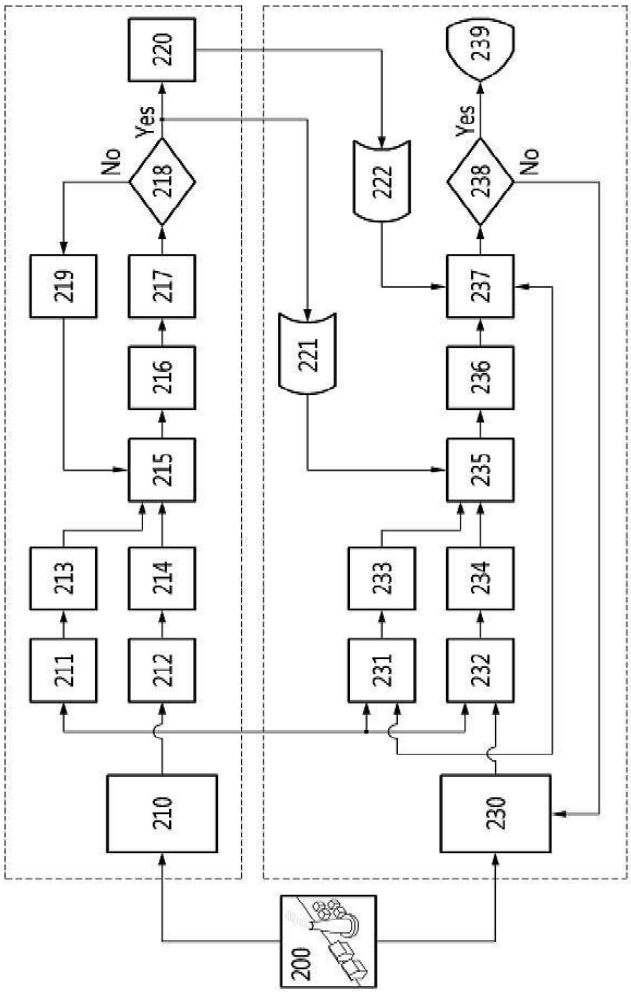
150: 검증부

## 도면

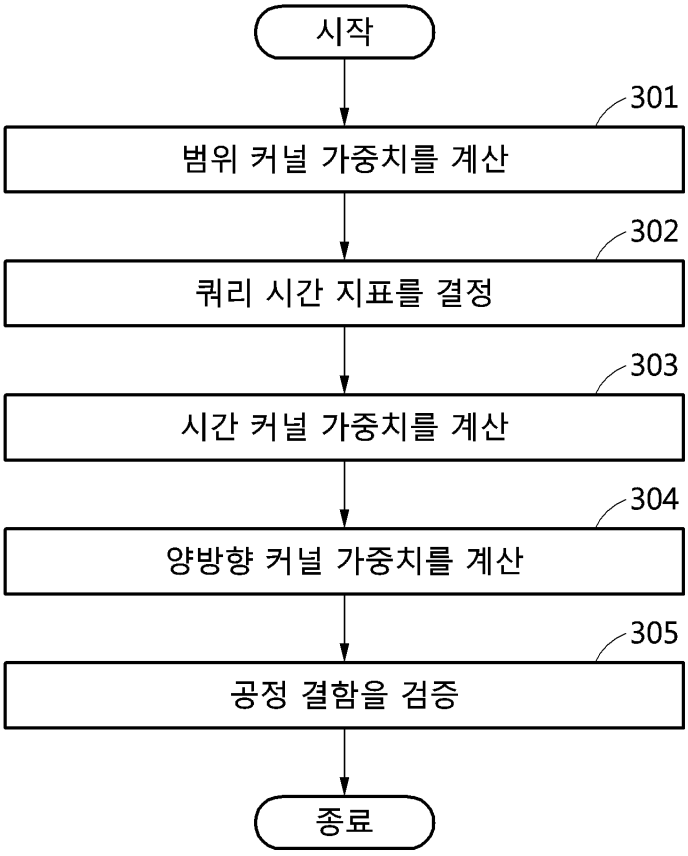
### 도면1


100
110
범위 커널 가중치 계산부
120
시간 지표 결정부
130
시간 커널 가중치 계산부
140
양방향 커널 가중치 계산부
150
검증부

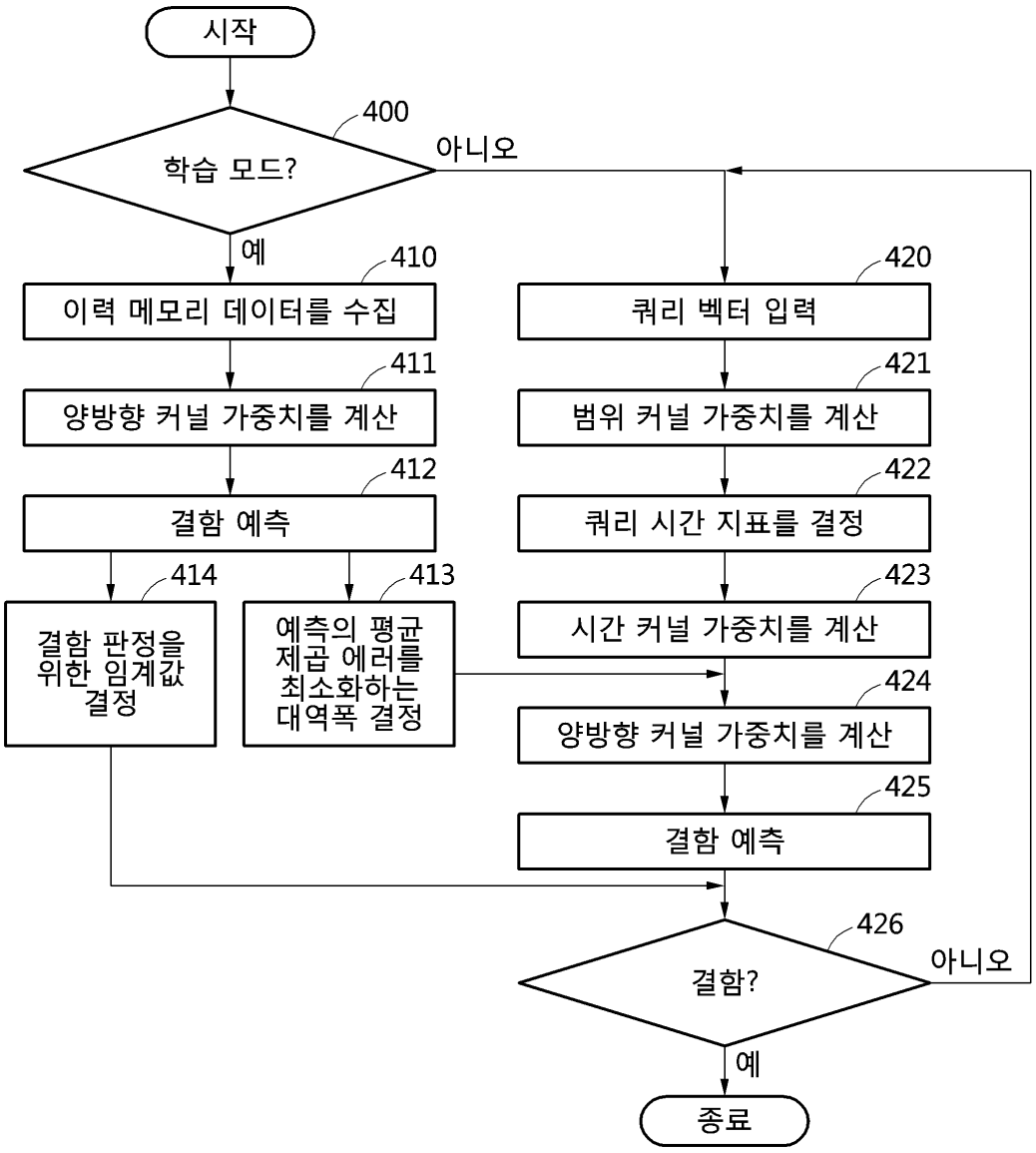
도면2


200
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
Yes
No
Yes
No

도면3


시작
301
범위 커널 가중치를 계산
302
쿼리 시간 지표를 결정
303
시간 커널 가중치를 계산
304
양방향 커널 가중치를 계산
305
공정 결함을 검증
종료

도면4


시작
400
학습 모드?
아니오
예
410
이력 메모리 데이터를 수집
411
양방향 커널 가중치를 계산
412
결함 예측
414
결함 판정을 위한 임계값 결정
413
예측의 평균 제곱 에러를 최소화하는 대역폭 결정
420
쿼리 벡터 입력
421
범위 커널 가중치를 계산
422
쿼리 시간 지표를 결정
423
시간 커널 가중치를 계산
424
양방향 커널 가중치를 계산
425
결함 예측
426
결함?
아니오
예
종료