



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0137931
(43) 공개일자 2022년10월12일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G05B 23/02 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
G05B 23/024 (2013.01)
G05B 23/0221 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2022-7030188
- (22) 출원일자(국제) 2021년01월29일
심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2022년08월31일
- (86) 국제출원번호 PCT/EP2021/052193
- (87) 국제공개번호 WO 2021/156157
국제공개일자 2021년08월12일
- (30) 우선권주장
20155480.5 2020년02월04일
유럽특허청(EPO)(EP)

- (71) 출원인
바스프 에스이
독일 루트빅샤펜 67056, 칼-보쉬-스트라세 38
- (72) 발명자
파니다키스, 니콜라오스
독일 67056 루트빅샤펜 칼-보쉬-스트라세 38
노이만, 클라우스-위르겐
독일 67056 루트빅샤펜 칼-보쉬-스트라세 38
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
장덕순, 이귀동

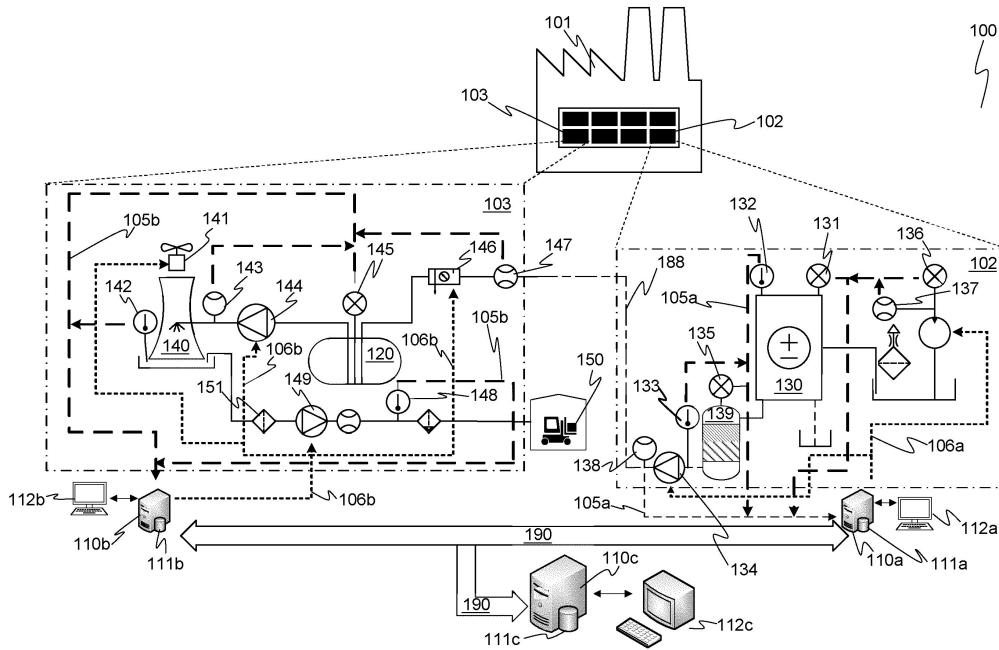
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 **산업 플랜트 모니터링**

(57) 요약

본 교시들은, 복수의 센서들 및 하나 이상의 기능적으로 연결된 처리 유닛을 포함하는 방법에 관한 것으로, 이 방법은: 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛에서, 센서 객체의 시계열 잔차 데이터를 제공하는 단계 - 센서 객체는 복수의 센서들로부터의 센서들 중 적어도 일부 센서의 그룹이고, 잔차 데이터는, 센서 객체의 센서 (뒷면에 계속)

대표도



들 각각에 대한, 센서의 측정된 출력과 센서의 예상 출력 사이의 차이인 잔차 신호를 포함함 - , 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 레벨 신호를 모니터링하는 단계 - 레벨 신호는, 시계열 잔차 데이터의 집합적 시간 기반 변동을 표시함 - , 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 연관 신호를 모니터링하는 단계 - 연관 신호는, 시계열 잔차 데이터의 변동 및/또는 연관 구조를 표시함 - , 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 주어진 시간에서 레벨 신호의 값 및/또는 연관 신호의 값이 그 시간 또는 그 시간 근처에서의 개개의 신호의 예상 값으로부터 변할 때 이상 이벤트 신호를 생성하는 단계를 포함한다. 본 교시들은 또한, 복수의 센서들을 포함하는 플랜트를 위한 모니터링 및/또는 제어 시스템에 관한 것이며, 시스템은, 본원에 개시된 단계들 중 임의의 단계의 방법 단계들을 수행하도록 구성되는 하나 이상의 처리 유닛, 및 컴퓨터 소프트웨어 제품을 포함한다.

(52) CPC특허분류

G05B 23/0281 (2013.01)

Y02P 80/30 (2015.11)

(72) 발명자

프리제, 벤자민

독일 67056 루드빅샤펜 칼-보쉬-스트라쎄 38

스트로마이어, 프랑크

독일 67056 루드빅샤펜 칼-보쉬-스트라쎄 38

폴케르트, 노르만

독일 67056 루드빅샤펜 칼-보쉬-스트라쎄 38

크리스트, 토마스

독일 67056 루드빅샤펜 루-팔츠그라펜스트라쎄 1

크나이츠, 토르슈텐 노르베르트

독일 67056 루드빅샤펜 루-팔츠그라펜스트라쎄 1

쿠비슈, 알렉산더

독일 67056 루드빅샤펜 칼-보쉬-스트라쎄 38

명세서

청구범위

청구항 1

복수의 센서들 및 하나 이상의 기능적으로 연결된 처리 유닛을 포함하는 플랜트를 모니터링하기 위한 방법으로

서,

- 상기 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛에서, 센서 객체의 시계열 잔차 데이터를 제공하는 단계 - 상기 센서 객체는 상기 복수의 센서들로부터의 센서들 중 적어도 일부 센서의 그룹이고, 상기 잔차 데이터는, 상기 센서 객체의 센서들 각각에 대한, 센서의 측정된 출력과 센서의 예상 출력 사이의 차이인 잔차 신호를 포함함 -,

- 상기 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 레벨 신호를 모니터링하는 단계 - 상기 레벨 신호는, 상기 시계열 잔차 데이터의 집합적 시간 기반 변동을 표시함 -,

- 상기 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 연관 신호를 모니터링하는 단계 - 상기 연관 신호는, 상기 시계열 잔차 데이터의 변동 및/또는 연관 구조를 표시함 -, 및

- 상기 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 주어진 시간에서 상기 레벨 신호의 값 및/또는 상기 연관 신호의 값이 상기 시간 또는 상기 시간 근처에서의 개개의 신호의 예상 값으로부터 변할 때 이상 이벤트 신호를 생성하는 단계

를 포함하는, 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

개개의 상기 예상 값 중 임의의 예상 값이, 대응하는 예상 값 제한으로서 제공되어, 주어진 시간에 대한, 이상 이벤트가 생성됨이 없이 대응하는 신호가 유효하게 가질 수 있는 복수의 예상 값들이 범위로써 또는 이산 값들로서 특정되는, 방법.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 방법은 또한,

- 상기 이상 이벤트 신호에 대한 응답으로, 상기 센서 객체 내의 센서들 중 어느 센서에 대한 센서의 측정된 출력이 이상 이벤트의 발생과 동시에 또는 거의 동시에 센서의 예상 출력으로부터 변했는지를 확인하는 것; 상기 센서 객체 내의 각각의 센서의 시계열 잔차 신호를 분석하여 레벨 신호 값에 대한 하나 이상의 주된 주도자(driver) 또는 가장 지배적인 기여자를 결정하는 것; 상기 센서 객체 내의 각각의 센서의 시계열 잔차 신호를 분석하여 연관 신호 값에 대한 하나 이상의 주된 주도자 또는 가장 지배적인 기여자를 결정하는 것; 및 상기 센서 객체 내에서의 센서 잔차 신호들의 각각의 쌍 조합의 시계열 잔차 신호들의 공분산을 분석하여 상기 연관 신호 값에 대한 하나 이상의 주된 주도자 또는 가장 지배적인 기여자를 결정하는 것 중 임의의 하나 이상을 수행함으로써, 이상의 적어도 하나의 근본 원인을 결정하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 방법은 또한,

- 상기 이상 이벤트 신호에 대한 응답으로, 상기 센서 객체와 관련된 적어도 하나의 장비의 건전성(health)의 상태를 결정하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 5

제2항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 예상 값 또는 예상 제한 값 중 임의의 값은, 적어도 부분적으로는 상기 센서 객체의 이력 잔차 데이터를 사용하여 훈련된 예측 모델인 센서 객체 모델에 의해 제공되는, 방법.

청구항 6

제6항에 있어서,

하나 이상의 공변량 신호가 상기 센서 객체 모델에 대한 입력으로서 제공되고, 각각의 공변량 신호는 잔차 신호들 중 적어도 하나가 의존하는 파라미터를 표현하는 신호인, 방법.

청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

적어도 하나의 센서 예상 출력이, 개개의 센서의 이력 시계열 출력 데이터를 사용하여 훈련된 예측 모델인 예상 상태 모델에 의해 제공되는, 방법.

청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 센서 객체는, 적어도 하나의 데이터-중심 알고리즘을 사용하여 상기 센서들 중 적어도 일부 센서를 적어도 부분적으로 자동으로 그룹화함으로써 제공되는, 방법.

청구항 9

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 센서 객체는, 적어도 하나의 자기-조직화 맵을 사용하여 상기 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛에 의해 적어도 부분적으로 자동으로 생성되는, 방법.

청구항 10

제7항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서,

예상 상태 모델은, 복수의 상이한 예측 모델 유형들을 분석하고, 이력 시계열 데이터의 특정 훈련 윈도우로 훈련될 때의 상기 모델의 출력과 상기 이력 시계열 데이터의 특정 시간 윈도우 내에서의 실제 이력 센서 출력 사이의 가장 낮은 오차를 제공하는 모델 유형을 상기 예상 상태 모델로서 선택함으로써, 상기 처리 유닛에 의해 자동으로 선택되는, 방법.

청구항 11

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서,

레벨 신호 값은, 상기 시계열 잔차 데이터가 자신의 정상 또는 예상 또는 평균 상태로부터 벗어나는 시간 및 양을 표시하는 거리 추정자(estimator)를 사용하여 생성되는, 방법.

청구항 12

제1항 내지 제11항 중 어느 한 항에 있어서,

연관 신호 값은, 상기 잔차 데이터에서의 다변량 의존성들의 통계적 척도를 사용하여, 또는 주어진 시간에 상기 시계열 잔차 데이터의 분산을 측정하기 위해 생성되는, 방법.

청구항 13

제1항 내지 제12항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 방법은 또한,

- 상기 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 센서의 출력 신호에서의 드리프트를 검출하는 단계

를 포함하며, 상기 센서는 상기 센서들 중 상기 적어도 일부 센서 중의 센서이고, 상기 드리프트는 상기 센서의 이력 시계열 데이터로부터 컴퓨팅되고, 상기 센서의 이력 데이터는 적어도 1주일 길이의 시간 기간으로부터 비롯되고, 상기 드리프트는 상기 센서의 이력 데이터의 강도, 평활도, 및 현재성(currentness)을 컴퓨팅함으로써 검출되는, 방법.

청구항 14

복수의 센서들을 포함하는 플랜트를 위한 모니터링 및/또는 제어 시스템으로서,

상기 시스템은, 제1항 내지 제13항 중 어느 한 항의 방법 단계들을 수행하도록 구성되는 하나 이상의 처리 유닛을 포함하는, 모니터링 및/또는 제어 시스템.

청구항 15

명령어들을 포함하는 컴퓨터 프로그램으로서,

상기 명령어들은, 복수의 센서들에 기능적으로 연결된 플랜트 모니터링 및/또는 제어 시스템의 처리 유닛에 의해 실행될 때, 시스템으로 하여금, 제1항 내지 제13항 중 어느 한 항의 방법 단계들을 수행하게 하는, 컴퓨터 프로그램.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 교시들은 일반적으로, 산업 플랜트의 컴퓨터 기반 모니터링에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 프로세스 플랜트들과 같은 산업 플랜트들은, 하나 이상의 산업 제품들을 생산하도록 동작되는 장비를 포함한다. 장비는, 예컨대, 유지보수를 요구하는 기계류 및/또는 열 교환기들일 수 있다. 유지보수를 위한 요건은, 장비에 대한 동작 시간 및/또는 부하, 장비가 노출된 환경 조건들 등을 포함하는 여러 인자들에 의존할 수 있다. 부적절하거나 계획되지 않은 장비의 섯다운은 일반적으로, 그러한 섯다운이 종종 생산의 중단을 초래하고 그러한 생산의 중단이 플랜트의 효율을 감소시킬 수 있고 낭비를 야기할 수 있기 때문에 바람직하지 않다. 두 번의 유지보수 사이의 시간 기간이 변할 수 있으므로, 유지보수가 실제로 필요한 시간 근처에 장비의 섯다운을 계획하는 것은 어려울 수 있다. 그에 따라서, 일상적인 유지보수가 실제로 필요한 것보다 더 일찍 행해질 수 있거나, 장비 동작이 유지보수 기간을 초과하여 실행될 수 있다. 후자는, 장비의 수명에 영향을 미칠 수 있고/거나 효율이 불량한 동작을 야기할 수 있다. 인식될 바와 같이, 후자는 또한, 계획되지 않은 섯다운의 위험을 증가시킬 수 있고, 이는, 계획되지 않은 섯다운으로 인해 장비에 의해 처리될 수 없는 재료들의 낭비를 야기할 수 있다. 전자의 접근법은 계획되지 않은 섯다운의 위험을 감소시키기 위해 사용될 수 있지만, 그것이 더 빈번한 유지보수들을 초래할 수 있고 더 빈번한 유지보수들은 비용들을 증가시킬 수 있기 때문에 이 또한 항상 바람직하지는 않을 수도 있다.

[0003] 플랜트는 또한, 장비와 관련된 하나 이상의 파라미터를 측정 또는 검출하기 위한 복수의 센서들을 포함한다. 일부 센서들은 또한, 그들이 측정 또는 검출하고자 하는 파라미터의 측정 및/또는 검출에서의 그들의 신뢰성을 보장하기 위해, 자체 유지보수, 예컨대, 예방적 유지보수 및/또는 교정을 요구할 수 있다.

[0004] 많은 경우들에서, 센서의 출력 변화는 또한 센서가 측정하고 있는 장비의 건전성(health)을 표시할 수 있다. 그러나, 출력 변화들은, 장비의 감소된 건전성에 의해 야기되는 것이 아닌 센서 그 자체가 불충분하게 기능하는 것에 의해 야기되는 것이 또한 가능하다. 플랜트들은 종종 수백 또는 수천 개의 센서들을 포함할 수 있다. 큰 산업 플랜트들은 수만 개 또는 심지어 더 많은 센서를 포함할 수 있다. 그에 따라, 각각의 센서를 모니터링함으로써 장비 건전성의 표시를 획득하는 것은 난제일 수 있다. 더욱이, 센서 출력이 드리프트하는 경우에도 장비의 상태를 결정하는 것은 난제일 수 있다. 결과적으로, 거짓 긍정(false positive) 이벤트들이 촉발될 수 있다. 빈번한 거짓 이벤트 신호들 또는 경보들은 그러한 시스템의 유용성을 감소시킬 수 있다.

[0005] 그에 따라, 플랜트에서의 이상(anomaly)을 검출하기 위해 더 효율적으로 센서 출력들을 활용하는, 플랜트를 모니터링하기 위한 방법에 대한 요건이 존재한다.

발명의 내용

- [0006] 종래 기술에 고유한 문제들 중 적어도 일부는 첨부된 독립 청구항들의 주제에 의해 해결되는 것으로 나타날 것이다.
- [0007] 제1 관점에서 볼 때, 복수의 센서들 및 하나 이상의 기능적으로 연결된 처리 유닛을 포함하는 플랜트를 모니터링하기 위한 방법이 제공될 수 있으며, 방법은 다음을 포함한다:
- [0008] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛에서, 센서 객체의 시계열 잔차 데이터를 제공하는 단계 - 센서 객체는 복수의 센서들로부터의 센서들 중 적어도 일부의 그룹이고, 잔차 데이터는, 센서 객체의 센서들 각각에 대한, 센서의 측정된 출력과 센서의 예상 출력 사이의 차이인 잔차 신호를 포함함 - ,
- [0009] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 레벨 신호를 모니터링하는 단계 - 레벨 신호는, 시계열 잔차 데이터의 집합적 시간 기반 변동을 표시함 - ,
- [0010] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 연관 신호를 모니터링하는 단계 - 연관 신호는, 시계열 잔차 데이터의 변동 및/또는 연관 구조를 표시함 - ,
- [0011] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 주어진 시간에서 레벨 신호의 값 및/또는 연관 신호의 값이 그 시간 또는 그 시간 근처에서의 개개의 신호의 예상 값으로부터 변할 때 이상 이벤트 신호를 생성하는 단계.
- [0012] 마지막 단계는 또한 대안적으로 다음과 같이 표현될 수 있다.
- [0013] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 레벨 이벤트 신호 및/또는 연관 이벤트 신호를 생성하는 단계 - 레벨 이벤트 신호는, 주어진 시간에서 레벨 신호의 값이 그 시간 또는 그 시간 근처에서의 레벨 신호의 예상 값으로부터 변할 때 생성되고, 연관 이벤트 신호는, 주어진 시간에서 연관 신호의 값이 그 시간 또는 그 시간 근처에서의 연관 신호의 예상 값으로부터 변할 때 생성됨 - .
- [0014] 레벨 이벤트 신호 및/또는 연관 이벤트 신호의 발생은 처리 유닛에 의해 이상 이벤트로서 고려될 수 있다. 다시 말해서, 레벨 이벤트 신호 및/또는 연관 이벤트, 또는 더 일반적으로는 이상 이벤트 신호는, 플랜트 내의 장비 중 적어도 하나에서의 이상을 표시한다. 값들 중 임의의 하나 또는 둘 모두가 또한 시간 의존적 값들일 수 있다.
- [0015] 관련 기술분야의 통상의 기술자들은, 본 개시내용에서의 "시간 의존적"이라는 용어가, 시간에 따라 변할 수 있는 그러한 값들 또는 파라미터들을 지칭한다는 것을 인식할 것이다. 그러한 값들은 시간에 대한 직접적인 의존성을 갖지 않을 수 있고, 오히려, 시계열 데이터인 플랜트와 관련된 신호들 및 프로세스 파라미터들의 시변 속성으로 인해, 그러한 값들은 시간 스케일 또는 시계열 값들을 따라 일련의 이산적 또는 연속적 값들로서 표현되거나 컴퓨팅될 수 있다. 그에 따라서, 반드시, 그러한 값들이 시간의 진행에 따라 항상 또는 규칙적으로 변해야만 한다는 것은 아니라는 것이 또한 인식될 것이다.
- [0016] 일부 경우들에서, 마지막 단계는 심지어 다음과 같을 수 있다:
- [0017] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 주어진 시간에서 잔차 신호의 크기가 잔차 임계치를 넘어 초과하고 레벨 신호 및/또는 연관 신호의 값이 그 시간 또는 그 시간 근처에서의 개개의 신호의 예상 값으로부터 변할 때 이상 이벤트 신호를 생성하는 단계.
- [0018] 일부 경우들에서, 잔차 데이터가 하나 이상의 기능적으로 연결된 처리 유닛에 입력 데이터로서 제공될 수 있는 것이 또한 가능하다. 그러한 경우들에서, 제1 단계는 구체적으로 다음과 같을 수 있다:
- [0019] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛에서, 센서 객체의 시계열 잔차 데이터를 수신하는 단계 - 센서 객체는 복수의 센서들로부터의 센서들 중 적어도 일부의 그룹이고, 잔차 데이터는, 센서 객체의 센서들 각각에 대한, 센서의 측정된 출력과 센서의 예상 출력 사이의 차이인 잔차 신호를 포함함 - .
- [0020] 잔차 데이터는, 하나 이상의 처리 유닛의 하나 이상의 입력에서 직접 수신될 수 있다. 대안적으로, 잔차 데이터는, 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛에 기능적으로 연결된 컴퓨터 메모리에서 수신될 수 있다.
- [0021] 일부 경우들에서, 잔차 데이터는 심지어, 하나 이상의 기능적으로 연결된 처리 유닛에 의해 생성될 수 있다. 그러한 경우들에서, 제1 단계는 구체적으로 다음과 같을 수 있다:

- [0022] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛에서, 센서 객체의 시계열 잔차 데이터를 생성하는 단계 - 센서 객체는 복수의 센서들로부터의 센서들 중 적어도 일부의 그룹이고, 잔차 데이터는, 센서 객체의 센서들 각각에 대한, 센서의 측정된 출력과 센서의 예상 출력 사이의 차이인 잔차 신호를 포함함 -.
- [0023] 일부 경우들에서, 잔차 데이터는, 나중에 설명될 바와 같이, 심지어 모니터링될 수 있다. 그러한 경우들에서, 방법은 또한 다음을 포함한다:
- [0024] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 센서 객체의 시계열 잔차 데이터를 모니터링하는 단계.
- [0025] 잔차 데이터의 모니터링은, 각각의 잔차 신호, 즉, 각각의 센서에 대한 것, 또는 잔차 신호들 중 임의의 하나 이상의 잔차 신호를 모니터링함으로써 행해질 수 있다. 그에 따라서, 잔차 신호 크기가 임의의 주어진 시간에서 미리 결정된 값 또는 임계치를 초과하는 임의의 센서에 대해, 그 시간에 대한 잔차 이벤트가 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛에 기능적으로 연결된 메모리 위치에 기록될 수 있다. 레벨 신호 및 연관 신호가 예상된 바와 같은 경우, 예컨대, 경보를 발생시키거나 이상을 기록하는 어떠한 조치도 수행되지 않는다. 반면에, 레벨 이벤트 신호 및/또는 연관 이벤트 신호가 주어진 시간에 또는 주어진 시간 근처에서 발생한 경우, 하나 이상의 센서로부터의 잔차 이벤트(들)가 발생한다. 그러한 경우들에서, 이상의 소스 또는 근본 원인을 찾기 위해 하나 이상의 센서로부터의 잔차 이벤트 신호(들)가 분석될 수 있다. 주어진 시간 또는 주어진 시간 근처에 대해 말하자면, 분석을 위해 고려되어야 할 잔차 이벤트 신호가 레벨 이벤트 신호 및/또는 연관 이벤트 신호의 발생과 동시에 또는 더 일찍 또는 그 후에 발생했을 수 있다는 것을 의미한다. 잔차 크기를 측정하는 것이 아니라, 센서 신호(들)의 모니터링은 심지어 그 센서의 예상 값으로부터 주어진 임계치를 넘어 초과한 임의의 센서의 측정된 신호 크기에 기반할 수 있다는 것이 인식될 것이다. 그러므로, 두 경우들 모두는 동등한 것으로 간주되고, 예컨대, 임계치들에 관하여 본 개시내용에서 상호교환가능하게 사용될 수 있다.
- [0026] "센서 객체"는, 플랜트의 복수의 센서들로부터의 센서들 중 적어도 일부의 특정 그룹을 지칭할 수 있다. 다시 말해서, 센서 객체는, 잔차 신호들이 레벨 신호 및/또는 연관 신호의 형태로 집합적으로 모니터링되는 센서 신호들의 그룹이다. 화학 및/또는 생물학 플랜트들과 같은 대규모 생산 플랜트들에서는, 모니터링될 센서들의 수가 많다. 전형적으로, 화학 또는 생물학 플랜트 내의 센서들의 수는 1000개를 훨씬 초과할 수 있고, 종종, 수만 개의 센서, 또는 일부 경우들에서는, 수십만 개의 센서 또는 심지어 더 많은 센서가 존재할 수 있다. 복수의 산업 플랜트들 또는 페어본트 설비(Verbund arrangement)들과 같은 복잡한 생산 및 가치 사슬들을 갖는 화학 및/또는 생물학 플랜트들에서, 센서들의 수는 막대할 수 있다.
- [0027] 제안된 센서 객체는, 본원에 개시된 다변량 기법들을 더 효과적으로 적용하는 것을 허용한다. 본 출원인은, 다변량 기법들이 플랜트의 모든 센서들을 포함하는 그룹 또는 센서들의 차선의 그룹에 대해 실현되는 경우, 그러한 그룹은 검출될 이상들에 관한 민감도가 부족할 수 있다는 것을 깨달았다. 센서들 중 일부에서의 더 작지만 중요한 편차들이 과도하게 제어될 수 있거나 그룹 내의 다른 센서들에서의 더 크지만 덜 중요한 편차들이 그에 지배적이게 될 수 있다. 본 교시들은 또한, 센서들의 적합한 그룹들을 하나 이상의 센서 객체의 형태로 정의하는 것을 허용하며, 그 센서 객체 각각은, 다른 센서 신호들에 의해 극복되지 않고도 이상들에 대한 민감도를 유지하는 것을 허용할 수 있다.
- [0028] 단변량 방법들과 비교하여, 다변량 모니터링 방법들은, 센서 객체 내의 이상을 가리키는 경고들을 생성할 시 거짓 긍정률을 감소시키는 이점을 가질 수 있다. 그러므로, 본원에 개시된 바와 같은 센서 객체는, 이상 검출에 대한 높은 민감도를 달성하면서 낮은 거짓 긍정들을 유지하는 것을 허용할 수 있다.
- [0029] 복수의 센서로부터의 센서들 중 일부를 하나 이상의 센서 객체로 클러스터링하는 것은, 위에 논의된 바와 같이 많은 방식들로 행해질 수 있다. 그러나, 센서 객체로의 센서들의 차선의 클러스터링 또는 그룹화는 검출의 민감도에 영향을 미칠 수 있다. 더욱이, 센서 객체를 생성하는 수동 클러스터링은 성공의 보장 없이 긴 시간이 소요될 수 있다. 전문가가 확보될 수 있을 때에도, 수동 입력을 통해 수동으로 센서들을 그룹화하는 것은 대규모로 수행될 경우에도 막대한 수동 작업부하로 이어질 수 있다. 각각의 플랜트가 그 자체로 고유할 수 있으므로, 다수의 미지의 사항들이 수반될 수 있기 때문에 적절한 그룹화를 수행하는 것은 어려울 수 있다. 더욱이, 종종, 플랜트 토폴로지에 대한 정보가 처리가능한 데이터 포맷, 예컨대, 처리되거나 평가될 수 있는 플랜트의 수학적 모델로 제공되지 않는데, 적어도, 요구되는 정도까지 상세하지 않다.
- [0030] 바람직한 양상에 따르면, 센서 객체는, 복수의 센서들로부터의 센서들 중 적어도 일부를 적어도 부분적으로 자동으로 선택함으로써 제공된다. 상기 선택은, 센서들 중 적어도 일부가 센서 객체 내에 그룹화될 적합성에 기반하여 이루어진다. 양상에 따르면, 데이터-중심 알고리즘을 사용하는 유사성 검출이 센서 객체를 구축하는 데

사용된다. 바람직하게는, 선택은 완전히 자동으로 행해진다. 논의된 바와 같이, 더 구체적으로는, 센서들 중 적어도 일부의 선택 또는 센서들의 그룹화는, 하나 이상의 데이터-중심 방법 또는 알고리즘에 의해 수행된다. 바람직하게는, 데이터-중심 알고리즘은, 복수의 센서들로부터의 센서들을 센서 객체들로 그룹화하기 위해 적어도 하나의 유사성 척도를 사용하도록 구성된다. 예컨대, 데이터-중심 알고리즘은, 센서 객체를 제공하기 위해서 센서들 중 적어도 일부를 그룹화하기 위해 적어도 하나의 유사성 척도를 사용한다. 여기서, 데이터-중심 알고리즘이란, 센서들 중 적어도 일부를 적어도 부분적으로 자동으로 그룹화하거나 선택하기 위해, 센서 데이터, 이를테면, 복수의 센서들의 이력 시계열 데이터를 활용하도록 구성되는 알고리즘을 의미한다. 더 구체적으로, 데이터-기반 알고리즘은 하나 이상의 클러스터링 알고리즘일 수 있다. 클러스터링 알고리즘은, 복수의 센서들의 이력 데이터를 사용하는 비-지도(unsupervised) 학습을 통해 훈련된 신경망 모델과 같은 비-지도 학습 알고리즘, 또는 클러스터링 및 차원 축소를 위한 임의의 다른 적합한 알고리즘일 수 있다. 비-지도 학습 알고리즘은, 예컨대, 자기-조직화 맵("SOM")들일 수 있다. 본 출원인은, SOM이 적절한 센서들을 센서 객체들로 자동으로 그룹화하는 데 특히 유익하다는 것을 발견하였다.

[0031] 그에 따라, 양상에 따르면, 하나 이상의 자기-조직화 맵을 사용하여, 처리 유닛들 중 임의의 하나 이상의 처리 유닛은, 센서들을 그들의 시간 의존적 신호들에서의 유사한 패턴들 또는 하나 이상의 유사성 척도에 따라 컴퓨터 메모리에 배열 또는 순서화하도록 구성된다. 이러한 목적을 위해, 대응하는 센서들로부터의 이력 시계열 데이터가 활용될 수 있다. 센서들은, 행렬 또는 컴퓨터 판독가능 2D 맵 공간 상에 배열될 수 있다. 후속하는 단계에서, 이러한 행렬 또는 맵은 하나 이상의 센서 객체를 생성하기 위해 세분되거나 단편화된다. 예컨대, 맵 공간은, 대칭 또는 비대칭 그리드를 사용하여 단편화되거나 절단될 수 있다. 부가적으로 또는 대안적으로, 맵 공간은, 맵 상의 센서들의 클러스터 주변의 거리 값을 사용하여 절단된다. 예컨대, 클러스터는, 서로 특정 거리 내에 놓인 센서들을 선택하는 것을 수반하는 유사성 척도를 통해 자동으로 검출될 수 있다. 이어서, 일정 거리 값 내에 놓인 모든 센서들이 센서 객체로 그룹화될 수 있다. 거리 값 척도는 심지어, 예컨대, 비대칭 클러스터를 형성하는 센서들을 포착하기 위한 다수의 거리 값들을 포함할 수 있다. 때때로, 클러스터 내의 서브-클러스터들이 비대칭 클러스터들을 더 양호하게 포착하기 위한 하나 이상의 거리에 기반하여 검출될 수 있다. 일부 경우들에서, 전체 복수의 센서들이 설명된 바와 같이 센서 객체들로 분할될 수 있다. 센서 객체는 2개 이상의 센서를 가질 수 있다. 바람직한 양상에서, 센서 객체는, 2개 미만의 센서가 아닌 20개 또는 그보다 적은 센서를 가질 수 있다. 센서 객체들 내의 센서들의 개체군(population)은 상이할 수 있는데, 예컨대, 일부 센서 객체들은 20개 초과인 센서, 예컨대, 약 100개의 센서를 가질 수 있다. 바람직한 양상에 따르면, 센서 객체는 20개 또는 약 20개의 센서로부터의 신호들을 포함한다. 더 일반적인 바람직한 양상에 따르면, 센서 객체는, 10개, 약 10개, 또는 수십 개의 센서로부터의 신호들을 포함한다. 본원에서의 "수십 개의 센서"라는 용어는, 100 이하의 임의의 정수 개의 센서, 예컨대, 4개 또는 12개 또는 25개 또는 30개의 센서를 포함하는 것을 의미한다. 제안된 자동 클러스터링은, 예컨대, 센서들 사이의 유사성의 자동 검출을 허용함으로써, 센서 객체 내에 포함되기에 적합한 센서들을 포착하는 것을 허용한다. 그에 따라, 이상 검출은, 전문가 사용자 없이 그리고 센서들 또는 플랜트 토폴로지의 상세사항들이 거의 없이 또는 전혀 없이 수행될 수 있다. 화학 및 생물학 플랜트와 같은 복잡하고 큰 플랜트들의 경우, 이는 상당한 이점일 수 있다.

[0032] 양상에 따르면, SOM은, 입력 벡터들의 2차원의 이산화된 표현을 생성하기 위해 복수의 센서들로부터의 센서 데이터를 사용하는 비-지도 학습을 사용하여 훈련되며, 이 센서 데이터는 이러한 경우에, 센서 객체들로 클러스터링될 필요가 있는 센서 데이터, 즉, 복수의 센서들로부터의 데이터일 것이다. 본 교시들에 따르면, 입력 벡터들 또는 센서 신호들 중 고차원 공간에서 유사한 것들이 2차원("2D") 공간에서 인근 노드들에 맵핑된다. 유사성은 2D 공간에서 맵핑되는 센서 노드들 사이의 거리의 관점에서 측정될 수 있다.

[0033] SOM을 사용한 자동 그룹화의 비-제한적인 예로서, 2D 공간은, 예컨대, 그의 지오메트리를 $K \times n$ 그리드로서 표현함으로써 미리 정의되거나 특정될 수 있다. 센서 노드들은 처음에 랜덤으로 2D 공간에 맵핑될 수 있고, 이어서, 그들의 위치가 반복적으로 조정된다. 이러한 방식으로, 입력 벡터들의 초기 지오메트리 내의 이웃하는 지점들이 2D 공간에서 인근 지점들에 맵핑될 수 있다.

[0034] 본 교시들에 따르면, 센서 시계열 데이터에 적절한 거리/유사성 척도를 선택함으로써, 하나 이상의 SOM이 사용되어, 매칭하는 형상들을 갖는 그룹들로 시계열이 클러스터링될 수 있다. 관련 기술분야의 통상의 기술자들은, 상기 그룹들이 센서 객체들을 표현한다는 것을 인식할 것이다.

[0035] 처리 유닛들이 동일한 사이트에 또는 동일한 물리적 위치에 위치될 필요는 없다는 것이 인식될 것이다. 예컨대, 처리 유닛들 중 적어도 일부는 클라우드 서비스로서 또는 클라우드 서비스에서 구현될 수 있다. 레벨

신호 및 연관 신호를 모니터링하는 처리 기능들 각각이 적어도 하나의 기술적 이점을 제공하므로, 그러한 기능들이 또한 자신 고유의 권리로 특허가능하다.

- [0036] 따라서, 다른 관점에서 볼 때, 복수의 센서들 및 하나 이상의 기능적으로 연결된 처리 유닛을 포함하는 플랫폼을 모니터링하기 위한 방법이 또한 제공될 수 있으며, 방법은 다음을 포함한다:
- [0037] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛에서, 센서 객체의 시계열 잔차 데이터를 제공하는 단계 - 센서 객체는 복수의 센서들로부터의 센서들 중 적어도 일부의 그룹이고, 잔차 데이터는, 센서 객체의 센서들 각각에 대한, 센서의 측정된 출력과 센서의 예상 출력 사이의 차이인 잔차 신호를 포함함 -,
- [0038] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 레벨 신호를 모니터링하는 단계 - 레벨 신호는, 시계열 잔차 데이터의 집합적 시간 기반 변동을 표시함 -,
- [0039] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 레벨 이벤트 신호를 생성하는 단계 - 레벨 이벤트 신호는, 주어진 시간에서 레벨 신호의 값이 그 시간 또는 그 시간 근처에서의 레벨 신호의 예상 값으로부터 변할 때 생성되고, 레벨 이벤트 신호는, 플랫폼 내의 장비 중 적어도 하나에서의 이상을 표시함 -.
- [0040] 유사하게, 또 다른 관점에서 볼 때, 복수의 센서들 및 하나 이상의 기능적으로 연결된 처리 유닛을 포함하는 플랫폼을 모니터링하기 위한 방법이 또한 제공될 수 있으며, 방법은 다음을 포함한다:
- [0041] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛에서, 센서 객체의 시계열 잔차 데이터를 제공하는 단계 - 센서 객체는 복수의 센서들로부터의 센서들 중 적어도 일부의 그룹이고, 잔차 데이터는, 센서 객체의 센서들 각각에 대한, 센서의 측정된 출력과 센서의 예상 출력 사이의 차이인 잔차 신호를 포함함 -,
- [0042] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 연관 신호를 모니터링하는 단계 - 연관 신호는, 시계열 잔차 데이터의 변동 및/또는 연관 구조를 표시함 -,
- [0043] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 연관 이벤트 신호를 생성하는 단계 - 연관 이벤트 신호는, 주어진 시간에서 레벨 신호의 값이 그 시간 또는 그 시간 근처에서의 연관 신호의 예상 값으로부터 변할 때 생성되고, 연관 이벤트 신호는, 플랫폼 내의 장비 중 적어도 하나에서의 이상을 표시함 -.
- [0044] 이전에 논의된 바와 같이, 바람직하게는, 센서 객체는 센서들 중 적어도 일부를 적어도 부분적으로 자동으로 그룹화함으로써 제공된다.
- [0045] 인식될 바와 같이, 위의 경우들 중 임의의 경우에 대해, 잔차 신호에 기반하여, 즉, 센서의 측정된 신호가 센서 신호의 예상 값으로부터 주어진 임계치를 넘어 초과할 때 이상을 표시하는 이벤트를 생성하는 것이 아니라, 본 교시들은, 레벨 신호 및/또는 연관 신호의 모니터링에 기반한 이상 이벤트 신호 생성을 따른다. 이상 이벤트는, 레벨 신호 및 연관 신호 중 어느 하나 또는 둘 모두가 그들 개개의 예상 값으로부터 변할 때 생성된다. 그에 따라서, 다시 말해서, 레벨 신호 및 연관 신호 둘 모두가 그들 개개의 예상 값들 내에 있는 동안 잔차 신호 중 임의의 잔차 신호가 그들의 잔차 임계치를 넘어 초과할 때에는 이상 이벤트 신호의 생성이 방지되고, 그에 따라, 이상 이벤트는 레벨 신호 및/또는 연관 신호 모니터링의 결과에 기반한다.
- [0046] 양상에 따르면, 레벨 신호 및 연관 신호의 개개의 예상 값들은 각각, 바람직하게는, 그들 개개의 신호들이 유효하게 놓일 수 있는 개개의 값 범위로서 제공된다. 그에 따라, 레벨 신호 및 연관 신호 각각은, 임의의 주어진 시간에서의 적어도 하나의 제한 값을 제공받을 수 있다. 신호 값이 그 시간에 개개의 제한 내에 있는 경우, 값은 예상된 바와 같은 것으로 간주되고, 이상 이벤트는 생성되지 않는다. 다시 말해서, 개개의 예상 값 중 임의의 예상 값이, 대응하는 예상 값 제한으로서 제공되어, 주어진 시간에 대한, 이상 이벤트가 생성됨이 없이 대응하는 신호가 유효하게 가질 수 있는 복수의 예상 값들이 특정될 수 있다. 제한 값들은 또한 시간 의존적 값들일 수 있다. 복수의 예상 값들은 이산 값들일 수 있거나 개개의 신호가 대응하는 제한 값에 의해 특정된 범위 내에서 취할 수 있는 임의의 값에 대응할 수 있다는 것이 인식될 것이다.
- [0047] 본 출원인은, 레벨 및 연관 신호들의 모니터링에 기반한 제안된 이벤트 생성이, 실제 이상을 검출하는 것에 대한 집중을 유지하면서 거짓 긍정 이벤트들의 상당한 감소를 초래할 수 있다는 것을 발견하였다.
- [0048] 이상 이벤트 신호에 대한 응답으로, 작업자 또는 사용자에게 센서 객체가 관련된 장비에서의 이상에 관해 알리기 위한 경보가 생성될 수 있다. 대안적으로 또는 그에 부가하여, 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛 (이후, 간단히 처리 유닛으로 지칭됨)은 이상의 소스를 결정하기 위해 센서 데이터를 백트래킹(backtrack)할 수 있다. 그러므로, 양상에 따르면, 본 방법은 또한 다음을 포함한다:

- [0049] - 이상 이벤트 신호에 대한 응답으로, 센서 객체와 관련된 장비의 건전성을 결정하는 단계.
- [0050] 장비의 건전성은, 예컨대, 처리 유닛을 통해 근본 원인 분석을 수행함으로써 결정될 수 있다.
- [0051] 앞서 약속된 바와 같이, 일부 경우들에서, 예상 값으로부터의 변화 또는 편차에 제한 값이 제공된다. 신호 값이 자신의 연관된 제한 값 내에 놓여 있는 경우, 이벤트 신호는 생성되지 않는다. 그에 따라서, 센서 객체의 모니터링된 신호들, 즉, 레벨 또는 연관 중 임의의 신호가 주어진 제한 또는 제어 범위를 넘어 벗어날 때, 이러한 편차는 이상으로서 간주될 수 있고, 이벤트 신호(예컨대, 레벨 이벤트 신호, 연관 이벤트 신호, 또는 둘 모두)의 형태로 경고가 생성될 수 있다. 제안된 바와 같이, 센서 객체의 상태는 레벨 신호 및/또는 연관 신호를 사용하여 모니터링되거나 관측되며, 두 신호들 모두는 시간 의존적이거나 시간 기반 신호들이다. 주어진 제한들은 관심 응용에 따라, 예컨대, 편차의 수용가능한 허용한계, 이벤트들의 요구되는 민감도, 센서 객체의 임계성 또는 중요도 및 유사한 것들에 따라 정의될 수 있다는 것이 인식될 것이다. 양상에 따르면, 제한 값들은, 개개의 신호들, 즉, 레벨 및 연관 신호들이 정상 조건들 하에 놓일 것으로 예상되는 통계적 제한들을 사용하여 도출된다. 그에 따라, 제한 값은, 모니터링된 신호 값이 유효하게 위치될 수 있는 예상 값의 또는 그 근처의 동향(movement)에 대한 값 범위 또는 확률 공간을 표현한다. 일부 경우들에서, 심지어, 특히 연관 신호에 대한 상한 값 및 하한 값이 존재할 수 있다. 그에 따라, 상한 값 및 하한 값 내에 놓이는 확률 공간은 복수의 예상 값들에 의해 정의될 수 있다. 그 경우들 중 어느 경우에서든, 확률 공간은, 예컨대, 과거 모니터링으로부터의 이력 데이터를 사용하여 결정될 수 있다. 제한 값들은, 관측된 값이 주어진 확률 값으로 그 범위 내에 허용가능하게 위치될 수 있는 값 범위를 정의하는 것으로서 이해될 수 있다. 제한 값은, 응용 조건들 및/또는 이력 센서 데이터의 이용가능성에 따라, 영 또는 영이 아닌 값일 수 있다. 제한 값은 또한 시간 의존적 값일 수 있다. 그에 따라서, 본 개시내용에서의 제한 값들에 특정 수를 부속시키는 것이 필수적이지는 않다.
- [0052] 센서 객체와 관련된 센서 데이터의 유효성을 모니터링하는 것에 대해, 본 출원인은, 위에 논의된 2개의 표시자, 즉, 레벨 신호 및 연관 신호가, 센서 데이터로부터의 다변량 정보를 개별 또는 통합 점수들로 축합(condense)하는 데 있어서 특히 효과적일 수 있다는 것을 발견하였다. 표시자들은 센서 객체의 잔차 신호들에 적용된다. 센서 객체의 각각의 센서에 대해 생성되는 잔차 신호는, 주어진 시간에서의 측정된 센서 출력 신호(또는 관측된 센서 신호)와 그 시간에서의 예상 센서 신호 사이의 차이이다. 이어서, 센서 객체 센서로부터의 잔차 신호들을 포함하는 잔차 데이터로부터 표시자들이 생성된다. 본 출원인은, 대부분의 경우들에서의 측정된 센서 출력 신호가 복수의 정보를 포함하고, 그 대부분이 이상 또는 장비 건전성을 검출하는 데 있어서 무관할 수 있다는 것을 깨달았다. 예컨대, 측정 또는 관측된 센서 출력 신호는, 플랜트 및/또는 장비의 동작 조건들, 생산 모드, 제어기 설정들 등에 의존할 수 있다. 그에 따라, 장비 건전성과 관련된 정보는, 센서 출력이 의존하는 다양한 다른 파라미터들에 의해 야기된 필요치 않은 정보 내에 덮일 수 있다. 본 출원인은, 센서 출력 신호들을 직접 사용하는 것이 아니라, 그 대신에, 잔차 데이터에 대한 제안된 표시자들을 적용함으로써, 필요치 않은 정보가 시간 의존적 센서 출력들로부터 적어도 부분적으로 제거될 수 있으며, 이에 따라, 장비의 건전성 관련 정보가 추가적인 신호 처리를 위해 더 검출가능하게 될 수 있다는 것을 깨달았다.
- [0053] 제1 표시자, 즉, 레벨 신호는, 센서 객체의 시계열 잔차 데이터에서의 시간 의존적 잔차 신호들의 집합적 동향과 관련된 정보 또는 통계 값을 제공한다. 레벨 신호 값은, 센서 객체 내에서의 시계열 잔차 데이터의 레벨 변화들 또는 단기 추세들을 검출하는 데 사용될 수 있다. 제2 표시자, 즉, 연관 신호는, 시계열 잔차 데이터의 변동 및/또는 연관 구조와 관련된 정보 또는 통계 값을 제공한다. 연관 신호는, 센서 객체 내에서의 시계열 잔차 신호들 간의 변동성(volatility) 및/또는 상관 구조에서의 변화들을 표시한다.
- [0054] 개개의 신호, 즉, 레벨 신호 및/또는 연관 신호에 대한 이벤트 신호는, 신호 값의 크기가 그 시간에서의 그 신호의 예상 값 또는 예상 값들의 주어진 제한을 넘게 될 때 생성될 수 있다. 그에 따라, 표시자들은, 임의의 주어진 시간에, 그 시간에 대한 그의 예상 상태로 지칭될 수 있는 것에 대하여 비교된다. 예상 상태 또는 시간 의존적 예상 신호 값들은 센서 객체의 모델에 의해 제공될 수 있다. 센서 객체 모델은, 이력 잔차 데이터를 사용하여 훈련된, 예컨대 센서 객체 신경망을 포함하는 적어도 부분적으로는 데이터 주도(data-driven) 모델과 같은 예측 모델일 수 있다. 비교의 결과들, 즉, 자신의 예상 상태로부터의 레벨 신호의 편차, 및 자신의 예상 상태에서부터 연관 신호의 편차는, 시간 경과에 따라 처리 유닛을 통해 모니터링된다. 이상 이벤트 신호는, 레벨 신호 값 및/또는 연관 신호 값의 크기가 그 시간에서의 그 신호의 예상 값으로부터 제한을 넘어 발산할 때 생성된다. 편차들은 시간 경과에 따라 처리 유닛을 통해 모니터링된다.
- [0055] 신호들 또는 심지어 편차들의 모니터링은 연속적으로 수행될 수 있거나, 또는 그 모니터링은 동일하거나 동일한 지 않은 길이들의 이산 시간 구간들 사이에서 행해질 수 있다.

- [0056] 센서 객체는, 예컨대, 처리 유닛에 기능적으로 연결된 메모리를 통해 처리 유닛에 제공될 수 있다. 양상에 따르면, 잔차 데이터의 생성은 동일한 처리 유닛을 통해 행해진다. 대안적으로, 잔차 데이터의 생성은, 다른 프로세서에 의해 행해지고 이어서 처리 유닛에 제공될 수 있다.
- [0057] 산업 플랜트들 또는 간단히 플랜트들은, 산업 목적을 위해 사용되는 기반구조를 포함한다. 산업 목적은, 하나 이상의 제품의 제조 또는 처리, 즉, 플랜트에 의해 수행되는 제조 프로세스 또는 처리일 수 있다. 제품은, 예컨대, 임의의 물리적 제품, 이클테면, 화학, 생물학, 제약, 식품, 음료, 직물, 금속, 플라스틱, 반도체일 수 있거나, 또는 제품은 심지어, 서비스 제품, 이클테면, 전기, 난방, 공기-조화(air-conditioning), 폐기물 처리, 이클테면, 재활용, 화학 처리, 이클테면, 분해 또는 용해, 또는 심지어 소각 동일 수 있다. 그에 따라서, 플랜트는, 화학 플랜트, 제약 플랜트, 화석 연료 처리 설비, 이클테면, 석유 및/또는 천연 가스 웰, 정유 공장, 석유화학 플랜트, 분해 플랜트(cracking plant) 및 그러한 것들 중 임의의 하나 이상의 것일 수 있다. 플랜트는 심지어, 증류소, 소각로, 또는 발전소(power plant) 중 임의의 것일 수 있다. 플랜트는 심지어, 상기된 것들 중 임의의 것의 조합일 수 있는데, 예컨대, 플랜트는, 분해 설비, 이클테면 증기 분해기, 및/또는 발전소를 포함하는 화학 플랜트일 수 있다. 본 교시들을 적용하기 위해, 일부 경우들에서, 대형 플랜트 내의 하위-설비가 심지어 플랜트로 간주될 수 있다. 기반구조는, 장비 또는 프로세스 유닛들, 이클테면, 열 교환기, 칼럼(column), 이클테면 분별 칼럼, 노(furnace), 반응 챔버, 분해 유닛, 저장 탱크, 침전기, 파이프라인, 스택, 필터, 밸브, 액추에이터, 변압기, 회로 차단기, 기계류, 예컨대, 대형(heavy duty) 회전 장비, 이클테면, 터빈, 발전기, 미분쇄기(pulverizer), 압축기, 팬, 펌프, 모터 등 중 임의의 하나 이상의 것을 포함할 수 있다.
- [0058] 플랜트 또는 산업 플랜트는 심지어 복수의 산업 플랜트들의 일부일 수 있다. 본원에서 사용되는 바와 같은 "복수의 산업 플랜트들"이라는 용어는 광의의 용어이고, 관련 기술분야의 통상의 기술자에게 그 용어의 통상적이고 관례적인 의미로 주어져야 하며, 특수한 또는 맞춤형된 의미로 제한되지 않아야 한다. 이 용어는 구체적으로, 제한 없이, 적어도 하나의 공통 산업 목적을 갖는 적어도 2개의 산업 플랜트의 복합체를 지칭할 수 있다. 구체적으로, 복수의 산업 플랜트들은, 물리적으로 그리고/또는 화학적으로 결합된 적어도 2개, 적어도 5개, 적어도 10개, 또는 심지어 그 초과인 산업 플랜트를 포함할 수 있다. 복수의 산업 플랜트들은, 복수의 산업 플랜트들을 형성하는 산업 플랜트들이 그들의 가치 사슬들, 추출물(educt)들 및/또는 제품들 중 하나 이상을 공유할 수 있도록 결합될 수 있다. 복수의 산업 플랜트들은 또한, 복합체, 복합체 사이트, 페어분트 또는 페어분트 사이트로 지칭될 수 있다. 추가로, 다양한 중간 제품들을 통한 최종 제품으로의 복수의 산업 플랜트들의 가치 사슬 생산은, 다양한 위치들에, 이클테면, 다양한 산업 플랜트들에 탈중앙집중화될 수 있거나, 또는 페어분트 사이트 또는 화학 단지(chemical park)에 통합될 수 있다. 그러한 페어분트 사이트 또는 화학 단지들은 하나 이상의 산업 플랜트일 수 있거나 그를 포함할 수 있으며, 여기서, 적어도 하나의 산업 플랜트에서 제조된 제품들은 다른 산업 플랜트에 대한 공급원료(feedstock)의 역할을 할 수 있다.
- [0059] 관련 기술분야의 통상의 기술자들은, 플랜트가 일반적으로 여러 상이한 유형들의 센서들을 포함할 수 있는 계측기(instrumentation)를 또한 포함한다는 것을 인식할 것이다. 센서들은, 다양한 프로세스 파라미터들을 측정하고 장비와 관련된 파라미터들을 측정하기 위해 사용된다. 예컨대, 센서들은, 프로세스 파라미터들, 이클테면, 파이프라인 내의 유량, 탱크 내부의 레벨, 노의 온도, 가스의 화학 조성 등을 측정하기 위해 사용될 수 있고, 일부 센서들은, 터빈의 진동, 팬의 속도, 밸브의 개방, 파이프라인의 부식, 변압기 양단의 전압 등을 측정하기 위해 사용될 수 있다. 이러한 센서들 사이의 차이는 그들이 감지하는 파라미터에 기반할 수 있을 뿐만 아니라, 심지어, 개개의 센서가 사용하는 감지 원리일 수도 있다. 그들이 감지하는 파라미터에 기반하는 센서들의 일부 예들은, 온도 센서들, 압력 센서들, 광 센서들과 같은 방사선 센서들, 유동 센서들, 진동 센서들, 변위 센서들, 및 가스와 같은 특정 물질을 검출하기 위한 것들과 같은 화학 센서들이다. 그들이 이용하는 감지 원리의 관점에서 상이한 센서들의 예들은, 예컨대: 압전 센서들, 압전저항성 센서들, 열전대들, 용량성 센서들 및 저항성 센서들과 같은 임피던스 센서들 등이다. 센서에 의해 측정된 정확한 파라미터 또는 센서의 이용된 원리는 본 교시들의 일반성의 범위에 대해 중요하지 않다.
- [0060] 그에 따라, 플랜트에는 종종, 플랜트에서의 특정 양(예컨대, 칼럼 내의 온도, 파이프 내의 압력, 질량 유동 등)의 값을 연속적으로 또는 규칙적인 간격들로 측정하는 센서들이 구비된다. 이러한 값들 각각은 일반적으로, 부가적인 정보와 함께 플랜트 정보 시스템("PIMS")에 저장된다. 부가적인 정보는, 메타데이터, 이클테면, 센서 명칭, 측정 타임스탬프, 측정 값, 단위, 측정 품질 중 하나 이상일 수 있다.
- [0061] 플랜트에서, 센서 출력들 중 적어도 일부는, 플랜트의 동작들 중 적어도 일부를 제어하는 제어 시스템에서 직접 또는 간접적으로 수신된다. 일부 플랜트들은 심지어, 계층구조로 또는 병렬로 동작하도록 구성될 수 있는 다수의 제어 시스템들을 포함할 수 있다. 하나 이상의 제어 시스템, 즉, 산업 제어 시스템("ICS")들의 정확한 아키

텍처는 본 교시들의 일반성의 범위에 대해 필수적이지 않다. 또한, 플랜트들이, 플랜트 내의 복수의 센서들로부터 데이터를 수신하는 데이터 취득 시스템("DAS")을 갖는 것이 일반적이다. 센서 데이터는 장기 컴퓨터 메모리 또는 데이터베이스에 저장된다. DAS는 PIMS와 동일한 시스템일 수 있거나, 이들은 상이한 시스템들일 수 있다. 센서 데이터는 일반적으로, 센서들로부터 수집된 데이터의 이력 또는 시간 정보를 표시하는 메타데이터를 포함한다. 그러므로, 이력 센서 데이터는 일반적으로, 시계열 데이터로서 데이터베이스에 저장되거나 그로부터 회수가 가능(recoverable)하다. 이력 연관 및/또는 레벨 신호 데이터는 또한, 동일한 데이터베이스에 또는 처리 유닛에 기능적으로 연결된 다른 데이터베이스에 저장될 수 있다. 위에 언급된 바와 같이, 메타데이터는 또한, 센서 시계열 데이터의 단위 및/또는 라벨을 포함할 수 있다. 센서는 종종, 산업 플랜트들에서 태그 또는 센서 태그로 또한 지칭된다. 플랜트 제어 및/또는 모니터링 시스템들의 일부 더 많은 예들은: 프로그래밍가능 로직 제어기("PLC"), 분산형 제어 시스템("DCS"), 및 감시 제어 및 데이터 취득(Supervisory Control and Data Acquisition)("SCADA")이다. 또한, 일부 플랜트들에서, 위에 언급된 시스템들 중 임의의 2개 이상의 시스템의 기능이 단일 제어 및/또는 모니터링 시스템에 의해 수행될 수 있다. 오늘날의 대부분의 제어 시스템들 및 모니터링 시스템들은 디지털 시스템들인데, 즉, 디지털 신호들을 통해 동작하고, 그에 따라서, 그러한 시스템들에 의해 수신된 센서 데이터는 또한, 센서 그 자체에 의해, 또는 아날로그 신호가 시스템의 디지털 프로세서에 의해 처리되기 전의 임의의 스테이지에서 디지털 신호로 변환된다. 그에 따라, 본 교시들은, 하나 이상의 처리 유닛을 포함하는 임의의 종류의 플랜트 모니터링 및/또는 제어 시스템에 적용된다. 일부 센서 출력들은, 예컨대, 제어 시스템 또는 제어기에 의해 직접 또는 간접적으로 영향을 받는 프로세스 파라미터들을 통해 제어 시스템 상태들에 의존할 수 있다. 레벨 및 연관 신호들로 그들을 통합함으로써 잔차들을 모니터링하는 것에 의하여, 그러한 영향들이 적어도 부분적으로 제거될 수 있으며, 이에 따라, 거짓 긍정 검출들이 감소되면서 이상의 검출이 개선될 수 있다.

[0062] 본 출원인은, 제안된 방법 또는 그 방법의 모니터링을 위한 시스템에 의해, 문제가 작업자 또는 종래의 모니터링 시스템에 의해 관측가능하게 되기 전의 초기 스테이지에서 플랜트에서의 이상 또는 일반적이지 않은 거동의 시작을 검출하는 것이 가능해질 수 있다는 것을 깨달았다. 그에 따라, 플랜트 장비 중 적어도 일부가 시간 경과에 따라 발전된 이상으로 인해 예상치 못하게 섰다오되는 것이 방지될 수 있다. 그러한 방지는, 본 교시들을 사용하여 이상을 검출하고 산업 프로세스의 중단이 적어도 감소될 수 있도록 유지보수를 계획함으로써 이루어질 수 있다. 또한, 교정 조치가 계획될 수 있도록, 나중에 문제가 발생할 수 있는 특정 플랜트 영역 또는 장비에 작업자의 주의를 유도하는 것이 제공될 수 있다.

[0063] 양상에 따르면, 이상 이벤트 신호의 발생에 대한 응답으로, 처리 유닛은, 플랜트 내의 장비의 적어도 하나의 피스의 건전성의 상태를 결정한다. 추가적인 양상에 따르면, 이상 이벤트 신호에 대한 응답으로, 처리 유닛은, 복수의 센서들 내의 적어도 하나의 개별 센서 또는 센서들의 서브-그룹의 이력 및/또는 실시간 시계열 데이터를 분석하는 것을 수반하는 추가적인 분석을 개시한다. 양상에 따르면, 처리 유닛은, 잔차 신호가 그들 개개의 잔차 임계치를 넘어 초과한 하나 이상의 센서 출력, 또는 이상 신호의 발생과 거의 동시에 발생한 각각의 연관된 잔차 이벤트 신호를 갖는 적어도 하나의 센서의 추가적인 분석을 우선순위화한다.

[0064] 이상 이벤트 신호에 대한 응답으로 직접 또는 센서들 중 하나 이상과 관련된 데이터를 후속하여 분석함으로써, 처리 유닛은, 장비 또는 센서의 어느 피스가 유지보수를 요구할 수 있는지를 더 구체적으로 결정할 수 있다. 더 바람직하게는, 주어진 시간 기간에 걸친 상기 시계열 신호들을 분석함으로써, 처리 유닛은, 장비의 적어도 하나의 피스의 유지보수 스케줄을 예상할 수 있다. 인식될 바와 같이, 그렇게 함으로써, 처리 유닛은, 장비 및/또는 하나 이상의 센서와 관련된 향후의 유지보수 요건들을 제공할 수 있다. 게다가, 처리 유닛이 실시간으로 모니터링 및 분석하도록 요구되는 센서 데이터의 양은, 제안된 레벨 및 연관 신호들을 모니터링함으로써 감소될 수 있다. 특히, 장비의 정상 동작 하에서 또는 검출가능한 이상이 존재하지 않을 때, 모니터링을 위해 사용되는 리소스들은 각각의 센서 신호가 개별적으로 분석되는 경우와 비교하여 상당히 감소될 수 있다. 이전에 언급된 바와 같이, 이는 또한, 단변량 접근법, 즉, 각각의 센서를 개별적으로 모니터링 및 분석하는 것과 비교하여, 잘못된 검출들이 이루어질 때 부가적인 이점들을 가질 수 있다.

[0065] 양상에 따르면, 레벨 이벤트 신호에 대한 응답으로, 처리 유닛은, 센서 객체 내의 각각의 센서의 시계열 잔차 신호를 분석하여 레벨 신호 값에 대한 하나 이상의 주된 주도자(driver) 또는 가장 지배적인 기여자를 결정한다. 결정은, 예컨대, 영향 크기 계산 및/또는 값 분포 분석을 사용하여 행해질 수 있다. 영향 크기는, 주어진 시간 기간 내에 잔차 신호가 특정 잔차 값으로부터 얼마나 멀리 있는지의 거리의 척도이다. 특정 잔차 값은 일반적으로, 주어진 시간 기간 내의 그 잔차 신호의 가장 개연성이 있는 값이다.

[0066] 양상에 따르면, 연관 이벤트 신호에 대한 응답으로, 처리 유닛은, 센서 객체 내의 각각의 센서의 시계열 잔차

신호를 분석하여 연관 신호 값에 대한 하나 이상의 주된 주도자 또는 가장 지배적인 기여자를 결정한다. 추가적인 양상에서, 처리 유닛은, 센서 객체 내에서의 센서 잔차 신호들의 각각의 쌍 조합의 시계열 잔차 신호들의 공분산을 분석하여 연관 신호 값에 대한 하나 이상의 주된 주도자 또는 가장 지배적인 기여자를 결정한다.

- [0067] 제안된 교시들은, 센서 객체 내의 센서들로부터의 잔차 데이터 사이의 유사성 및/또는 연관을 활용하여, 하나 이상의 센서로부터의 데이터가, 그것이 센서 객체 내에서의 잔차 데이터의 전체 레벨 및 연관과 관계가 있는 그러한 방식으로 벗어나는 시나리오들에 대한 계산 모니터링 노력에 집중할 수 있다. 센서 잔차 데이터의 그룹화는 제안된 다변량 접근법에 따른 모니터링을 허용한다. 이는, 센서 객체 내에 포함된 관련 센서 데이터의 전체 거동에 대한 집중을 유지하면서 계산 리소스들을 자유롭게 할 수 있다는 것이 인식될 것이다.
- [0068] 논의된 바와 같이, 양상에 따르면, 그룹화는, 예컨대, 자기-조직화 맵들을 사용하여, 처리 유닛을 통해 적어도 부분적으로 자동으로 행해진다. 자동 그룹화는, 데이터 특성들, 예컨대, 센서 객체의 센서 시계열 데이터의 유사성에 기반하여 그리고/또는 센서들의 출력 신호들 사이의 상호의존성 및/또는 센서의 유형에 기반하여 그리고/또는 센서 응답에서 유사하게 처리 유닛에 의해 행해질 수 있다. 게다가 또는 대안적으로, 양상에 따르면, 그룹화는 사용자로부터의 입력에 기반하여 행해진다. 그에 따라서, 그룹화는, 작업자 선호도 또는 경험에 기반하여 적어도 부분적으로 행해질 수 있다. 어느 경우에서든, 자동 또는 사용자 유도형인, 레벨 신호 및 연관을 사용하는 제안된 다변량 접근법은, 잔차들 간의 상호의존성들이, 그렇지 않으면 개별 신호 레벨 상에서 검출가능하지 않을 수 있는 거동을 검출하는 데 사용될 수 있다는 이점을 갖는다. 이전에 논의된 바와 같이, 센서 객체 내에서의 이상의 검출의 민감도를 유지하면서, 단변량 모니터링 접근법, 즉, 각각의 센서로부터의 데이터를 개별적으로 모니터링하는 것과 비교하여 잘못된 검출들이 감소될 수 있다.
- [0069] 그에 따라, 다른 관점에서 볼 때, 복수의 센서들 및 하나 이상의 기능적으로 연결된 처리 유닛을 포함하는 플랫폼을 모니터링하기 위한 방법이 또한 제공될 수 있으며, 방법은 다음을 포함한다:
- [0070] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛에서, 센서 객체의 시계열 잔차 데이터를 제공하는 단계 - 센서 객체는 복수의 센서들로부터의 센서들 중 적어도 일부의 그룹이고, 잔차 데이터는, 센서 객체의 센서들 각각에 대한, 센서의 측정된 출력과 센서의 예상 출력 사이의 차이인 잔차 신호를 포함하고, 센서 객체는, 센서들 중 적어도 일부를 적어도 부분적으로 자동으로 그룹화함으로써 제공됨 -,
- [0071] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 레벨 신호를 모니터링하는 단계 - 레벨 신호는, 시계열 잔차 데이터의 집합적 시간 기반 변동을 표시함 -,
- [0072] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 연관 신호를 모니터링하는 단계 - 연관 신호는, 시계열 잔차 데이터의 변동 및/또는 연관 구조를 표시함 -,
- [0073] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 주어진 시간에서 레벨 신호의 값 및/또는 연관 신호의 값이 그 시간 또는 그 시간 근처에서의 개개의 신호의 예상 값으로부터 변할 때 이상 이벤트 신호를 생성하는 단계.
- [0074] 논의된 바와 같이, 자동으로 그룹화하는 것은, 적어도 하나의 데이터-중심 알고리즘을 사용하여 수행된다. 데이터-중심 알고리즘은 클러스터링 알고리즘, 예컨대, SOM 알고리즘일 수 있다.
- [0075] 양상에 따르면, 완전 자동 그룹화가 처음에 수행되고, 이어서, 그룹화의 일부가 사용자 입력에 따라 재배열된다. 이는 새로운 플랫폼을 온보딩(onboarding)하는 데 도움이 될 수 있고, 수동 개입이 감소될 수 있다.
- [0076] 양상에 따르면, 복수의 센서들 내의 제1 그룹의 센서들로부터의 제1 그룹의 센서 출력들은 공변량(covariate) 신호들로서 구성되거나 태그지정된다. 추가로, 제1 그룹의 센서 출력들과 상이한 제2 그룹의 센서 출력들은 모니터링된 신호들로서 구성되거나 태그지정된다. 센서 객체는, 제2 그룹의 센서 출력들로부터의 잔차들을 사용하여 실현된다. 제1 그룹의 출력들 또는 공변량 신호들은, 모니터링된 신호들 중 적어도 하나의 거동에서의 변화를 야기할 수 있는 파라미터들을 표현하는 신호들이다. 그러므로, 공변량 신호들은, 바람직하게는 모니터링된 신호들에 영향을 줄 수 있는 영향력 있는 인자들 또는 파라미터들을 표현한다. 공변량 신호들은, 주변 온도, 냉각제 온도, 부하, 입력 흐름, 출력 흐름, 제어된 측정 또는 고정 나사(setscrew) 위치와 같은 파라미터들을 표현할 수 있다. 그러므로, 하나 이상의 모니터링된 신호 또는 모니터링된 신호들은 바람직하게는, 공변량 신호들 중 적어도 하나에 적어도 부분적으로 의존한다. 처리 유닛은, 센서 출력들 사이의 상호의존성들을 확인함으로써, 모니터링된 신호들로부터 공변량 신호들을 자동으로 결정할 수 있다. 대안적으로, 공변량들 및/또는 모니터링된 신호들 중 적어도 일부는 사용자 입력에 기반하여 정의될 수 있다. 센서 데이터의 통합된 모

니터링의 이점은 여전히 유지될 수 있다.

- [0077] 양상에 따르면, 제1 그룹의 출력들 또는 공변량 신호들로부터의 데이터가 또한, 예상 레벨 신호 및 예상 연관 신호 및/또는 그들의 개개의 제한들을 생성하기 위해 센서 객체 모델에 입력된다. 그에 따라, 레벨 신호 및 연관 신호의 시간 의존적 값들은 예상 레벨 신호 및 예상 연관 신호의 시간 의존적 값들과 비교된다. 그에 따라, 본 출원인은, 공변량들을 고려함으로써 예상 값들 및 그들의 제한들이 더 정확해질 수 있고, 이는, 센서 데이터에 영향을 줄 수 있는 인자들을 자동으로 고려하면서 초기 스테이지에서의 이상의 검출을 상승작용적으로 개선할 수 있다는 것을 깨달았다. 그에 따라, 예상 값들이 또한 공변량 신호들에 따라 적용될 수 있다. 이는, 모니터링이 센서 객체 레벨에서 행해지는 것과 조합될 때, 감소된 모니터링 리소스들 및 감소된 거짓 긍정들을 요구하는 솔루션을 또한 초래할 수 있다. 그러므로, 검출의 신뢰성이 개선될 수 있다.
- [0078] 또 다른 양상에 따르면, 센서의 예상 출력은 예상 상태 모델인 기계 학습(Machine Learning)("ML") 모델에 의해 제공된다. 예상 상태 모델은, 예측 모델, 예컨대, 센서의 이력 시계열 출력 데이터를 포함하는 훈련 데이터를 사용하여 훈련되는, 적어도 부분적으로는 데이터 주도 모델, 이를테면, 예상 상태 신경망이다.
- [0079] 그에 따라, 예상 상태 모델은, 센서의 이력 시계열 출력 데이터를 포함하는 훈련 데이터를 사용하여 훈련될 때 훈련된 데이터 주도 모델을 초래하는 기계 학습("ML") 모듈로서의 예측 모델일 수 있거나 이를 포함할 수 있다. "데이터 주도 모델"은, 데이터로부터, 이러한 경우에는, 센서와 관련된 이력 데이터를 포함할 수 있는 사용자 훈련 데이터로부터 적어도 부분적으로 도출되는 모델을 지칭한다. 순수하게 물리-화학적 법칙들을 사용하여 도출되는 엄격한 모델과는 대조적으로, 데이터 주도 모델은, 물리-화학적 법칙들에 의해 모델링될 수 없는 관계들을 기술하는 것을 허용할 수 있다. 데이터 주도 모델들의 사용은, 예컨대, 개개의 생산 프로세스 내에서 발생하는 프로세스들과 관련된 물리-화학적 법칙들로부터의 방정식들을 풀지 않고도 관계들을 기술하는 것을 허용할 수 있다. 이는, 계산 능력을 감소시키고/거나 속도를 개선할 수 있다.
- [0080] 데이터 주도 모델은 회귀 모델일 수 있다. 데이터 주도 모델은 수학적 모델일 수 있다. 수학적 모델은, 제공된 성능 특성들과 결정된 성능 특성들 사이의 관계를 함수로서 기술할 수 있다.
- [0081] 그에 따라, 본 맥락에서, 데이터 주도 모델, 바람직하게는 데이터 주도 기계 학습("ML") 모델 또는 단지 데이터 주도 모델은, 플랜트 및/또는 하나 이상의 장비와 관련된 반응 속도론(reaction kinetics) 또는 물리-화학적 프로세스들을 반영하기 위해, 센서의 이력 시계열 출력 데이터와 같은 개개의 훈련 데이터 세트에 따라 파라미터화되는 훈련된 수학적 모델을 지칭한다. 훈련되지 않은 수학적 모델은, 반응 속도론 또는 물리-화학적 프로세스를 반영하지 않는 모델을 지칭하는데, 예컨대, 훈련되지 않은 수학적 모델은 경험적 관측에 기반한 과학적 일반화를 제공하는 물리적 법칙으로부터 도출되지 않는다. 그러므로, 속도론 또는 물리-화학적 특성들은 훈련되지 않은 수학적 모델에 고유하지 않을 수 있다. 훈련되지 않은 모델은 그러한 특성들을 반영하지 않는다. 개개의 훈련 데이터 세트들을 이용한 특징 엔지니어링 및 훈련은, 훈련되지 않은 수학적 모델의 파라미터화를 가능하게 한다. 그러한 훈련의 결과는 단지 데이터 주도 모델, 바람직하게는 데이터 주도 ML 모델이며, 이 모델은, 훈련 프로세스의 결과로서, 바람직하게는 단독으로 훈련 프로세스의 결과로서, 개개의 플랜트 및/또는 플랜트의 장비 또는 자산들 중 하나 이상과 관련된 반응 속도론 또는 물리-화학적 프로세스들을 반영한다.
- [0082] 예상 상태 모델은 심지어 하이브리드 모델일 수 있다. 하이브리드 모델은, 제1 원리 부분들, 소위 화이트 박스 뿐만 아니라 이전에 설명된 바와 같은 데이터 주도 부분들, 소위 블랙 박스를 포함하는 모델을 지칭할 수 있다. 예상 상태 모델은, 화이트 박스 모델과 블랙 박스 모델 및/또는 그레이 박스 모델의 조합을 포함할 수 있다. 화이트 박스 모델은, 예컨대 방정식들로서 표현되는 물리-화학적 법칙들에 기반할 수 있다. 물리-화학적 법칙들은 제1 원리들로부터 도출될 수 있다. 물리-화학적 법칙들은, 화학 동역학, 질량, 운동량, 및 에너지 보존 법칙들, 임의적 차원에서의 입자 개체군 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 화이트 박스 모델은, 개개의 플랜트, 그의 생산 프로세스 또는 그의 부분들을 지배하는 물리-화학적 법칙들에 따라 선택될 수 있다. 블랙 박스 모델은, 센서의 이력 시계열 출력 데이터와 같은 이력 데이터에 기반할 수 있다. 블랙 박스 모델은, 기계 학습, 심층 학습, 신경망들, 또는 다른 형태의 인공 지능 중 하나 이상을 사용함으로써 구축될 수 있다. 블랙 박스 모델은, 훈련 데이터 세트와 테스트 데이터 사이의 양호한 적합도를 산출하는 임의의 모델일 수 있다. 그레이 박스 모델은, 부분적인 이론적 구조를 데이터와 조합하여 모델을 완성하는 모델이다.
- [0083] 훈련된 모델은, 직렬 또는 병렬 아키텍처를 포함할 수 있다. 직렬 아키텍처에서, 화이트 박스 모델의 출력이 블랙 박스 모델에 대한 입력으로서 사용될 수 있거나 블랙 박스 모델의 출력이 화이트 박스 모델에 대한 입력으로서 사용될 수 있다. 병렬 아키텍처에서, 화이트 박스 모델 및 블랙 박스 모델의 결합된 출력이, 이를테면 출력들의 중첩에 의해 결정될 수 있다. 비-제한적인 예로서, 제1 서브-모델은, 개개의 이력 데이터에 대해 훈련

된 블랙 박스 보정기의 역할을 하는 데이터 주도 모델 및 분석적 화이트 박스 모델을 갖는 하이브리드 모델에 기반하여 성능 파라미터들 중 적어도 하나 및/또는 제어 설정들 중 적어도 일부를 예측할 수 있다. 이러한 제1 서브-모델은, 화이트 박스 모델의 출력이 블랙 박스 모델에 대해 입력되는 직렬 아키텍처를 가질 수 있거나, 또는 제1 서브-모델은 병렬 아키텍처를 가질 수 있다. 화이트 박스 모델의 예측 출력은 이력 데이터의 일부를 포함하는 테스트 데이터 세트와 비교될 수 있다. 컴퓨팅된 화이트 박스 출력과 테스트 데이터 사이의 오차는 데이터 주도 모델에 의해 학습될 수 있고, 이어서, 임의적 예측들에 대해 적용될 수 있다. 제2 서브-모델은 병렬 아키텍처를 가질 수 있다. 다른 예들이 또한 가능할 수 있다.

[0084] 본원에서 사용되는 바와 같이, "기계 학습" 또는 "ML"이라는 용어는, 명시적으로 프로그래밍하지 않고도 기계들이 데이터로부터 작업들을 "학습"하는 것을 가능하게 하는 통계적 방법을 지칭할 수 있다. 기계 학습 기법들은, "전통적인 기계 학습", 즉, 수동으로 특징들을 선택하고 이어서 모델을 훈련시키는 작업흐름을 포함할 수 있다. 전통적인 기계 학습 기법들의 예들은, 결정 트리들, 서포트 벡터 기계(support vector machine)들, 및 앙상블 방법들을 포함할 수 있다. 일부 예들에서, 데이터 주도 모델은 데이터 주도 심층 학습 모델을 포함할 수 있다. 심층 학습은, 인간의 뇌의 신경 경로들을 느슨하게 모델링한 기계 학습의 서브세트이다. 심층은, 입력 계층과 출력 계층 사이의 다수의 계층들을 지칭한다. 심층 학습에서, 알고리즘은 어떤 특징들이 유용한지를 자동으로 학습한다. 심층 학습 기법들의 예들은, 콘볼루션 신경망("CNN")들, 장단기 메모리("LSTM")와 같은 순환 신경망들, 및 심층 Q 네트워크들을 포함할 수 있다.

[0085] 대안적으로 또는 그에 부가하여, 위와 유사하게, 센서 객체 모델은, 이력 시계열 데이터를 포함하는 훈련 데이터를 훈련할 때 훈련된 센서 객체 데이터 주도 모델을 초래하는 센서 객체 기계 학습("ML") 모듈로서의 예측 모델일 수 있거나 이를 포함할 수 있다.

[0086] 그에 따라, 센서의 예상 출력은, 제1 그룹의 출력들 또는 공변량 신호들 중 적어도 하나로부터의 데이터를 예상 상태 모델에 입력함으로써 생성된다. 따라서, 각각의 센서 또는 태그에는 그 특정 센서로부터의 이력 데이터를 사용하여 훈련된 개개의 예상 상태 모델이 제공될 수 있다는 것이 인식될 것이다. 예상 상태 모델에 입력되는 공변량 신호들은, 플랜트의 모든 공변량 신호들일 수 있거나 또는 플랜트 공변량 신호들의 서브세트일 수 있다. 플랜트는, 상이한 장비 사이의 예상되는 상호의존성뿐만 아니라 예상치 못한 상호의존성을 갖는 폐쇄된 시스템으로 볼 수 있다. 예컨대, 동작 중인 노의 외부 온도는, 국부적 주변 온도가 플랜트의 다른 부분들보다 높은 것을 초래할 수 있다. 그에 따라, 이는, 노에 가까운 파이프의 온도를 상승시킬 수 있으며, 이는 결국, 노에 가까운 파이프의 그 섹션을 통해 유동하는 액체의 밀도를 변경시킨다. 그러한 상호의존성들은 플랜트 동작 파라미터들에서 상이한 방식으로 나타날 수 있다. 엄격한 의미에서, 상호의존성들의 완전한 그림을 갖기 위해, 모든 공변량 입력들이 예상 상태 모델 및/또는 센서 객체 모델에 요구될 수 있다. 그러나, 이는, 예컨대, 처리 능력 요건들로 인해 실용적이지 않을 수 있다. 그에 따라, 바람직하게는, 예상 상태 모델 및/또는 센서 객체 모델에 대한 공변량 입력 신호들은 플랜트의 모든 공변량 신호들의 서브세트이다. 후자는, 예상 상태 모델에 의해 사용되는 처리 능력을 절약할 수 있다. 그에 따라, 예상 상태 모델 및/또는 센서 객체 모델은 또한 더 빨라질 수 있다. 예상 상태 모델 및/또는 센서 객체 모델의 정확도를 유지하기 위해, 처리 유닛은, 개개의 모델에 대해 지배적인 공변량들을 결정할 수 있다. 바람직하게는 모든 공변량들의 서브세트인 지배적인 공변량들은, 개개의 모델에 대한 각각의 공변량 신호의 예측 능력을 분석함으로써 처리 유닛을 통해 결정될 수 있다. 그에 따라, 공변량의 변동이 모델 출력에 영향을 주지 않는 경우, 그 공변량은 모델에 대한 입력이 방지된다. 처리 유닛은, 각각의 모니터링된 신호에 대한 플랜트의 각각의 공변량 신호의 예측 능력을 분석하기 위해 이력 시계열 데이터를 사용할 수 있다. 그에 따라, 처리 유닛은, 모델 출력에 관측가능하게 영향을 주는 선택된 공변량 입력들의 서브세트를 이용하여 예상 상태 모델 및/또는 센서 객체 모델을 결정할 수 있다.

[0087] 공변량들은, 동시에 또는 거의 동시에 발생한 개개의 센서 데이터를 고려할 뿐만 아니라 그들을 부가적인 시간 지연을 이용하여 분석함으로써 분석될 수 있다. 시간 지연은, 공변량에서의 발생과 주어진 센서의 출력으로서 그 발생의 영향에 대한 검출 사이의 하나 이상의 시간 기간일 수 있다. 이는, 지연 또는 시간 상수와 연관된 상호의존성들을 포착하는 것을 허용한다. 예로서, 시간 t 에서, 노에 투입되는 연료가 증가된 경우, 노에 의해 가열되는 액체의 온도 상승은 단지 시간 $t + t_d$ 에서 검출되었을 수 있다. 여기서, t_d 는 시스템에서의 시간 지연을 표현한다. 이는, 가장 중요한 공변량 신호들이, 그러한 공변량의 영향이 지연을 이용하여 분석되지 않았다면 그들이 잘못 무시되었을 수 있다 하더라도 결정될 수 있게 할 수 있다는 것을 본 출원인은 깨달았다.

[0088] 앙상에 따르면, 처리 유닛은, 어느 모델 유형이 예상 출력과 실제 출력 사이에 가장 낮은 오차를 제공하는지를 분석함으로써 예상 상태 모델의 유형을 선택한다. 예컨대, 오차는, 절대 오차 값, 평균 제곱 오차 값, 가중 평

균 제공 오차 값, 또는 심지어 이들의 조합 중 임의의 하나 이상을 예상 출력과 실제 출력 사이에서 계산함으로써 측정될 수 있다. 이러한 값들 중 하나 이상을 계산하기 위해, 예상 상태 모델은, 예컨대, 이력 시계열 데이터의 특정 부분으로 훈련될 수 있고, 오차는, 훈련된 예상 상태 모델을 시계열 데이터의 다른 부분으로부터의 공변량 신호 데이터에 대해 적용함으로써 계산될 수 있다. 이러한 공변량 신호 데이터에 대한 응답으로의 훈련된 모델의 출력은, 오차를 계산하기 위해 이력 데이터에서의 실제 출력과 비교될 수 있다. 처리 유닛은, 상이한 예측 방법에 기반하여 복수의 모델 유형들을 각각 평가하고, 이어서, 가장 낮은 오차를 제공하는 모델을 고를 수 있다. 일부 경우들에서, 주어진 정확도 성능 점수를 갖는 모델이 선택될 수 있다. 예컨대, 점수는, 가장 낮은 "(평균 절대 오차)*(처리 리소스들)"과 같은 성능 지수("FOM")일 수 있다. FOM은, 다른 유형들의 오차 또는 다른 메트릭들로부터 또한 생성될 수 있다. 처리 리소스들은, 모델로 예측 기능들을 수행하기 위해 처리 유닛에 의해 사용되는 처리 시간, 에너지, 또는 이들의 조합을 표시할 수 있다.

[0089] 가장 평균 제공 오차는, 예컨대, 훈련 데이터의 하나 이상의 상이한 섹션에 상이한 가중치들을 배정함으로써 계산될 수 있다. 이는, 센서 거동을 더 정확하게 반영하는 시계열 이력 데이터의 하나 이상의 섹션 주위에서의 모델 거동에 집중함으로써 모델 정확도가 개선될 수 있다는 이점을 갖는다.

[0090] 모델 유형의 결정은 일반적으로 초기 단계로서 행해질 수 있다. 논의된 바와 같이, 오차 및/또는 FOM 분석들은 이력 센서 데이터에 기반하여 행해질 수 있다. 평가 중인 하나 이상의 예상 상태 모델은, 이력 시계열 데이터에 대한 시간 윈도우를 특정함으로써 훈련될 수 있다. 훈련된 예상 상태 모델(들)은 이어서, 예컨대, 센서에 대한 이력 시계열 데이터의 나머지를 사용함으로써, 오차 및/또는 성능에 대해 처리 유닛에 의해 비교될 수 있다. 이를 위해, 처리 유닛은 또한, 모델에 대한 입력으로서 사용될 공변량 신호들을 결정할 수 있다. 논의된 바와 같이, 이들은, 플랜트의 모든 공변량들 또는 그의 서브세트일 수 있다. 서브세트는, 사용자에게 의해 적어도 부분적으로 특정될 수 있거나, 또는 앞서 설명된 바와 같이, 처리 유닛이, 모델 출력 상의 공변량들 각각의 예측 능력에 기반하여 지배적인 공변량들을 적어도 부분적으로 선택할 수 있다. 처리 유닛은 이어서, 센서로부터의 현재 시계열 데이터를 이용하여 센서의 예상 출력을 생성하기 위한 가장 적합한 예상 상태 모델을 선택할 수 있다.

[0091] 이전에 표시된 바와 같이, 센서 예상 상태 모델에 대해 위에 논의된 것과 유사한 접근법들이 또한 센서 객체 모델에 사용될 수 있다.

[0092] 바람직하게는, 센서 예상 상태 모델을 훈련시키기 위한 훈련 데이터는 정상 동작 조건들과 관련된 센서 데이터를 포함한다. 바람직하지 않은 동작 조건들에 기반한 훈련은 이러한 경우에서 방지되거나 감소될 수 있다. 그렇게 함으로써, 센서 데이터에서의 바람직하지 않은 편차들이 더 양호하게 포착될 수 있다. 유사하게, 센서 객체 모델이 또한, 바람직하게는, 정상 동작 조건들과 관련된 잔차 데이터를 이용하여 훈련된다. 그에 따라, 이는, 모니터링될 파라미터들의 수를 축합함으로써, 제안된 센서 객체와 함께 사용될 때, 즉, 레벨 및 연관 신호들의 모니터링과 함께 사용될 때 상승작용적 효과를 가질 수 있는 한편, 이상에 의해 야기되는 센서 데이터에서의 바람직하지 않은 변동들의 개선된 가시성을 가질 수 있다. 이는, 예상 상태 모델에 대해 또한, 비정상적인 센서 출력의 가시성을 개선할 수 있다.

[0093] 또 다른 양상에 따르면, 복수의 센서들은 복수의 플랜트 영역들에 속하는 센서들과 같은 범주들로 세분된다. 각각의 플랜트 영역에 속하는 센서들, 또는 플랜트 영역 센서들은, 복수의 프로세스 그룹들에 속하는 센서들로 세분될 수 있다. 각각의 프로세스 그룹에 속하는 센서들, 또는 프로세스 그룹 센서들은, 복수의 센서 객체들에 속하는 센서들로 세분될 수 있다. 위의 맥락에서, 각각의 센서 객체는, 그 센서 객체에 속하는 센서들로부터의 시계열 출력 데이터를 그룹화함으로써 실현된다는 것이 인식될 것이다. 복수의 플랜트 영역들을 구조화하는 것의 이점은, 사용자 인터페이스("UI")에서, 관심 있는 플랜트의 부분들에 대해 사용자에게 더 쉬운 내비게이션을 허용하는 것일 수 있다. 각각의 프로세스 그룹을 구성하기 위해, 그에 속하는 센서들 또는 태그들은 공변량들로서 또는 모니터링될 태그들로서 구성된다. 공변량 태그와 모니터링될 태그 사이의 구별은 동일한 프로세스 그룹 내에서 상호 배타적이지만, 프로세스 그룹에서의 모니터링될 태그는 또한 다른 프로세스 그룹에서의 공변량일 수 있다. 인식될 바와 같이, 동시에 모니터링될 센서 데이터에 기반하여 센서 객체들로의 세분이 행해진다. 그에 따라, 레벨 신호 및 연관 신호는, 앞서 설명된 바와 같이, 각각의 센서 객체에 대해 모니터링되는 표시자들이다. 예로서, 플랜트가 화력 발전소인 경우, 화력 발전소 내의 복수의 센서들은, 용수 저장소, 발전 유닛, 스위치 야드(switch yard) 등과 같은 플랜트 영역들에 따라 세분되거나 태그 지정될 수 있다. 발전 유닛 영역은, 보일러, 급수 루프, 터빈, 복수기(condenser), 발전기 등과 같은 프로세스 그룹들로 세분될 수 있다. 모니터링 객체 또는 센서 객체는 동일한 프로세스 그룹에 속하는 센서들로부터 창출될 수 있거나, 상이한 프로세스 그룹들에 속하는 센서들로부터 창출될 수 있다. 플랜트의 그러한 세분은 또한, 예상 상태 모델 및/또는 센

서 객체 모델을 사용하는 예측과 관련된 공변량들의 수를 감소시키는 데 도움을 줄 수 있다. 그에 따라, 주어진 관측된 센서 또는 센서 객체에 대해 플랜트에서 이용가능한 모든 공변량 신호들을 사용하는 것이 아니라, 관측된 센서 또는 센서 객체에 가깝게 위치되는 공변량들만이 고려될 수 있다. 본질적으로 모든 관측된 센서들 또는 센서 객체들과 관련된 일부 공변량 신호들, 예컨대 주변 온도가 여전히 존재할 수 있지만, 플랜트의 특정 영역들 내에서 더 국부화된 영향을 갖는 다른 공변량들은 다른 영역들에 대해 무시될 수 있다. 그에 따라, 제안된 바와 같은 세분은, 예상 상태 모델 및/또는 센서 객체 모델을 생성하는 것을 더 단순화할 수 있다.

[0094] 각각의 개별 센서에 대한 잔차 신호를 생성하기 위해, 제안된 교시들은, 센서에 대한 2개의 별개의 상태, 즉, 임의의 주어진 시간 t 에서의 그 개별 센서의 관측 또는 측정된 출력 값을 표현하는 실제 상태, 및 시간 t 에서의 그 센서에 대한 예상 값을 표현하는 예상 상태를 제공한다. 예상 상태는 바람직하게는, 정상 플랜트 동작 모드 또는 동작으로부터 정의된다. 센서의 실제 상태는, 그 센서에 대한 잔차 신호를 생성하기 위해 센서의 예상 상태와 비교된다. 그에 따라, 잔차 신호는, 센서의 예상 상태로부터 실제 또는 관측된 상태의 편차를 표현한다.

[0095] 또한 이전에 논의된 바와 같이, 레벨 신호 값이 예상 레벨 신호 값 또는 주어진 레벨 신호 제한을 넘어 변할 때, 레벨 이벤트 신호가 생성된다. 유사하게, 연관 신호 값이 예상 연관 신호 값 또는 주어진 연관 신호 제한을 넘어 변할 때, 연관 이벤트 신호가 생성된다. 신호들 중 어느 신호에 대해서든, 제한 값은 절대 값일 수 있거나 또는 개개의 신호 값에 상대적인 값일 수 있다. 잔차 신호에 대한 임계 값들에 또한 동일하게 적용될 수 있다. 이전에 설명된 바와 같이, 임계치들 및 제한들은 응용에 따라 정의될 수 있다. 다른 양상에 따르면, 잔차 신호에 대한 하나 또는 둘 모두의 임계치는 제어 차트(control chart)를 사용하여 처리 유닛에 의해 결정된다. 또 다른 양상에 따르면, 레벨 신호 및 연관 신호 중 어느 하나 또는 둘 모두에 대한 하나 또는 둘 모두의 제한들은 개개의 제어 차트를 사용하여 처리 유닛에 의해 결정된다. 제어 차트는 개개의 잔차 또는 점수 데이터를 사용하여 생성된다는 것이 이해될 것이다. 양상에 따르면, 제한들은, 예컨대, 개개의 점수의 예상 값들의 분위수 값으로서 정의된다. 비-제한적인 예로서, 제어 상한은 99.5 % 분위수 또는 그 부근일 수 있다. 추가적인 비-제한적인 예로서, 제어 하한은 0.5 % 분위수 또는 그 부근일 수 있다.

[0096] 양상에 따르면, 예상 상태 모델 및/또는 센서 객체 모델은 하나 이상의 미리 결정된 시간 간격 사이에서 재훈련된다. 그렇게 함으로써, 예상 상태 결정은, 노화와 같은 자연적 인자들 및/또는 교정에서의 드리프트 등에 의해 야기될 수 있는 센서(들)의 응답에서의 변화를 고려함으로써 보정식으로 재교정될 수 있다. 모델 재훈련은 또한, 모델 성능이 모델의 최소 성능 임계치 미만인 것에 대한 응답으로 자동으로 촉발될 수 있다. 대안적으로 또는 그에 부가하여, 센서 객체 모델 재훈련은, 플랜트 출력을 변경하기 위한 사용자 입력과 같은 프로세스 파라미터들에서의 변화, 예컨대, 생산의 증가 또는 감소에 대한 응답으로 자동으로 촉발될 수 있다. 그에 따라, 재훈련은, 장비 및/또는 플랜트의 거동에서의 변화를 포착할 수 있다.

[0097] 양상에 따르면, 레벨 신호 값은, 거리 추정자(estimator), 예컨대, 센서 객체의 잔차 데이터에 대한 T2-호텔링(T2-Hotelling) 통계를 사용하여 생성된다. T2-호텔링은 t -통계의 일반화이고, 변수들의 그룹의 다변량 평균으로부터의 편차들을 표시한다. 일반적으로, T2-호텔링 통계의 값이 더 높을수록, 관측이 평균으로부터 더 멀다. 레벨 신호를 컴퓨팅하기 위해 사용될 때, 이는, 잔차 데이터가 그의 정상 또는 예상 또는 평균 상태에서부터 벗어난 때 및 얼마나 많이 벗어나 있는지를 표시할 수 있다. 임의의 적합한 거리 추정자가 레벨 신호를 컴퓨팅하는데 사용될 수 있다. 추가적인 양상에 따르면, 연관 신호 값은, 다변량 의존성들의 척도, 예컨대, 센서 객체의 잔차 데이터에 대한 일반화된 분산("GV") 통계를 사용하여 생성된다. GV는 관측들의 샘플의 분산-공분산 행렬의 행렬식(determinant)으로서 계산될 수 있고, 분산의 다변량 일반화이다. 따라서, 이는, 주어진 시간에 센서 객체에서의 시계열 잔차 데이터의 분산을 측정하는 데 사용될 수 있다. 신호 값들 각각은, 각각이 특정 길이를 갖는 개개의 시간 윈도우로부터의 시계열 잔차 데이터에 대해 계산된다. 시간 윈도우는, 예컨대, 훈련 데이터의 품질에 기반하여 선택될 수 있다.

[0098] 양상에 따르면, 이력 레벨 신호 및/또는 연관 신호는 처리 유닛에 기능적으로 연결된 데이터베이스 상에 시계열 데이터로서 기록된다.

[0099] 양상에 따르면, 시계열 데이터 중 임의의 것(예컨대, 센서 시계열 데이터 및/또는 잔차 데이터 및/또는 레벨 신호 데이터 및/또는 연관 신호 데이터)은 또한 주식 데이터를 포함한다. 주식 데이터는 사용자 입력을 통해 제공될 수 있지만, 일부 경우들에서는, 심지어, 처리 유닛에 의해 적어도 부분적으로 자동으로 제공될 수 있다. 주식 데이터에는 유형들 및/또는 레벨들이 제공될 수 있다. 주식 유형은, 데이터의 특징들, 이를테면, 시계열 데이터의 특정 섹션이 무엇과 관련되는지, 예컨대, 유지보수 활동, 고장, 데이터 문제 등을 분류할 수 있다. 레벨 유형은, 주식이 플랜트의 어느 레벨과 관련되는지를 특정할 수 있다. 예컨대, 플랜트 레벨은, 모든 센서

객체들 및 그들의 센서들과 관련되는 주석을 참조하기 위해 사용될 수 있고, 영역 레벨은, 특정 플랜트 영역에 속하는 모든 센서 객체들 및 그들의 센서들과 관련되는 주석을 참조할 수 있고, 유사하게, 프로세스 그룹 레벨, 센서 객체 레벨, 및 심지어 센서 레벨 주석들이 특정될 수 있다. 양상에 따르면, 처리 유닛은, 하나 이상의 주석을 사용하여, 예상 상태 모델 및/또는 센서 객체 모델을 훈련시키기 위한 이력 데이터의 적합한 부분을 자동으로 선택한다. 예컨대, 처리 유닛은, 시계열 내에 특정 유형의 주석을 포함하는 이력 시간 윈도우들을 회피할 수 있다. 그렇게 함으로써, 모델들이 일관성 없는 데이터에 대해 훈련되는 것이 회피될 수 있다. 그에 따라, 정상 플랜트 또는 장비 동작에 대한 적절한 정보를 제공하는 훈련 데이터를 선택함으로써 모델 정확도가 개선될 수 있다. 양상에 따르면, 처리 유닛은, 점수(들) 및/또는 잔차(들) 각각에 대한 바람직한 제한(들) 및/또는 임계치(들)에 따라 이력 시간 윈도우를 정의하기 위해 주석들을 자동으로 배치한다. 그에 따라, 이는, 관측된 신호(들)가 예상 신호(들)를 얼마나 엄격하게 추적할 필요가 있는지에 영향을 주기 위해 사용될 수 있다. 사용자 특정 주석들이 사용자 인터페이스("UI")를 이용하여 수신될 수 있고, 예컨대, 분석 데이터베이스에 저장될 수 있다. 주석들은 심지어, 주석의 시작 및 끝을 특정하기 위한 타임스탬프(들)를 포함할 수 있다. 주석들은 심지어, 시계열 데이터의 바람직한 섹션들을 리트리브(retrieve)하는 데 사용될 수 있다.

[0100] 일부 플랜트들에서, 파이프의 파울링(fouling)과 같은 잠행성(creeping) 프로세스들은, 센서 데이터에서의 느린 추세들 또는 드리프트를 야기할 수 있다. 그러한 추세들은, 시간 경과에 따른 센서 데이터 값들의 느린 상승 또는 드롭(drop)을 야기할 수 있다. 그 추세들은 작은 기울기 또는 변화율을 가질 수 있고, 이는, 그러한 잠행성 프로세스에 의해 야기되는 센서 출력에서의 주어진 검출가능한 변화가 나타나기 위해서는 예컨대, 한 주, 수 주 또는 심지어 수개월이 소요되는 것을 초래할 수 있다. 예상 상태 모델 및/또는 센서 객체 모델의 재훈련은, 그러한 느린 추세들이 레벨 및/또는 연관 신호들뿐만 아니라 잔차들을 모니터링함으로써 검출가능하지 않게 되는 것을 야기할 수 있다. 이를 방지하기 위해, 처리 유닛은 추세 검출을 수행할 수 있다. 본 출원인은, 센서의 이력 데이터의 강도, 평활도, 및 현재성(currentness)의 계산이 시계열 데이터에서 드리프트를 검출하는데 특히 유용할 수 있다는 것을 발견하였다.

[0101] 그에 따라서, 방법은 또한 다음을 포함할 수 있다:

[0102] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 센서의 출력 신호에서의 드리프트를 검출하는 단계 -
 센서는 센서들 중 적어도 일부 중의 센서이고, 드리프트는 센서의 이력 시계열 데이터로부터 컴퓨팅되고, 센서의 이력 데이터는 적어도 1주일 길이의 시간 기간으로부터 비롯되고, 드리프트는 센서의 이력 데이터의 강도, 평활도, 및 현재성을 컴퓨팅함으로써 검출됨 -.

[0103] 관련 기술분야의 통상의 기술자들은, 이러한 맥락에서의 강도는 신호 추세의 강도를 지칭한다는 것을 인식할 것이다. 그에 따라, 강도는 추세의 기울기에 대한 척도를 통해 표현될 수 있다. 강도는, 예컨대, 센서의 이력 데이터에 대한 맨-켄달(Mann-Kendall) 테스트를 사용하여 측정될 수 있는 드리프트의 세기 및 인식가능성을 기술한다. 그러한 테스트는, 추세가 검출될 수 있는지 여부 및 그것이 긍정적 추세인지 부정적 추세인지를 표시할 수 있는 값 점수를 초래한다. 그에 따라, 강도의 척도는, 추세 또는 드리프트가 약한지 강한지를 표시할 수 있다.

[0104] 평활도는, 드리프트가 다소 평활한지 여부 또는 그것이 이력 데이터에서의 더 급격한 레벨 시프트에 의해 야기되는지를 기술한다. 그에 따라, 평활도는, 스파이크들, 레벨 시프트들 등과 같은 데이터에서의 급격한 특징들의 부재의 정도의 표준화된 측정을 표현한다. 그러한 특징들의 존재는 추세에 불확실성을 부가할 수 있는데, 예컨대, 추세의 강도가 인위적으로 팽창 또는 수축될 수 있다. 그에 따라, 본 교시들은, 강도 및 현재성의 맥락에서 평활도 값을 사용하여, 센서 출력에서의 실제 드리프트에 더 가까운 센서의 출력 신호에서의 드리프트를 검출 또는 컴퓨팅하는 것을 제안한다.

[0105] 수 주 또는 수개월과 같은 긴 시간 기간에 걸쳐 활성이었고, 그에 따라, 수 주 또는 수개월의 시간 윈도우가 고려되는 경우 인식가능하지만, 그 이후로 최근에 냉각되었을 수 있거나 더 이상 활성이 아닐 수 있는 추세들이 심지어 존재할 수 있다. 그러한 특성들은, 현재성 또는 실제성(actuality) 테스트를 사용하여 검출될 수 있다. 추세의 현재성, 유행성(prevalence), 또는 동시성(contemporaneity)은, 관측들의 시간 동안 식별되는 실제 추세가 센서 출력 데이터에서 장기 진화 추세의 일부인지 여부의 측정을 지칭한다. 그에 따라, 더 이상 활성이 아닌 그러한 드리프트들은 무시될 수 있다.

[0106] 그에 따라, 위의 기준들은, 이상들 또는 잠재적 이상들에 견딜 수 있는 실제 드리프트들을 검출하는 것을 상충작용적으로 허용할 수 있다. 그에 따라, 이는, 이상들을 표현하지 않거나 표현할 가능성이 없는 센서 출력에서의 그러한 변동들을 무시하면서 그러한 실제 드리프트들을 유지하는 것을 허용할 수 있다. 그에 따라, 예상 상

태 모델의 재훈련에도 불구하고, 이상들로서 아직 나타나지 않은 더 느린 동향을 보이는 영향들에 대해 더 신뢰 가능한 가시성이 유지될 수 있다.

- [0107] 양상에 따르면, 드리프트를 컴퓨팅하기 위한 시간 기간은 1개월 또는 약 1개월 길이의 지속기간이다. 부가적으로 또는 대안적으로, 다른 양상에 따르면, 지속기간은 3개월 또는 약 3개월 길이다. 부가적으로 또는 대안적으로, 또 다른 양상에 따르면, 지속기간은 6개월 또는 약 6개월 길이다. 바람직하게는, 이력 데이터는, 본질적으로 추세 검출이 수행되고 있는 시간까지의 시계열 데이터의 지속기간 길이 부분이다.
- [0108] 예컨대, 블랙 박스 모니터링 방법과 적어도 부분적으로 관련된 본 교시들은 또한, 위에 약술된 바와 같은 플랜트를 위한 모니터링 시스템을 제공하는 데 사용될 수 있다. 그에 따라서, 복수의 센서들을 포함하는 플랜트를 위한 모니터링 및/또는 제어 시스템이 또한 제공될 수 있으며, 여기서, 시스템은, 본원에 개시된 방법 단계들 중 임의의 방법 단계를 수행하도록 구성되는 하나 이상의 처리 유닛을 포함한다.
- [0109] 예컨대, 복수의 센서들을 포함하는 플랜트를 위한 모니터링 및/또는 제어 시스템이 제공될 수 있고, 시스템은 하나 이상의 기능적으로 연결된 처리 유닛을 포함하고, 시스템은 다음을 행하도록 구성된다:
- [0110] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 센서 객체의 시계열 잔차 데이터를 생성하고 - 센서 객체는 복수의 센서들로부터의 센서들 중 적어도 일부의 그룹이고, 잔차 데이터는, 센서 객체의 센서들 각각에 대한, 센서의 측정된 출력과 센서의 예상 출력 사이의 차이인 잔차 신호를 포함함 -,
- [0111] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 레벨 신호를 모니터링하고 - 레벨 신호는, 시계열 잔차 데이터의 집합적 시간 기반 변동을 표시함 -,
- [0112] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 연관 신호를 모니터링하고 - 연관 신호는, 시계열 잔차 데이터의 변동 및/또는 연관 구조를 표시함 -,
- [0113] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 주어진 시간에서 레벨 신호의 값 및/또는 연관 신호의 값이 그 시간 또는 그 시간 근처에서의 개개의 신호의 예상 값으로부터 변할 때 이상 이벤트 신호를 생성한다.
- [0114] 유사하게, 다른 관점에서 볼 때, 복수의 센서들을 포함하는 플랜트를 위한 모니터링 및/또는 제어 시스템이 또한 제공될 수 있고, 시스템은 하나 이상의 기능적으로 연결된 처리 유닛을 포함하고, 시스템은 다음을 행하도록 구성된다:
- [0115] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛에서, 센서 객체의 시계열 잔차 데이터를 제공하고 - 센서 객체는 복수의 센서들로부터의 센서들 중 적어도 일부의 그룹이고, 잔차 데이터는, 센서 객체의 센서들 각각에 대한, 센서의 측정된 출력과 센서의 예상 출력 사이의 차이인 잔차 신호를 포함함 -,
- [0116] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 레벨 신호를 모니터링하고 - 레벨 신호는, 시계열 잔차 데이터의 집합적 시간 기반 변동을 표시함 -,
- [0117] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 레벨 이벤트 신호를 생성한다 - 레벨 이벤트 신호는, 주어진 시간에서 레벨 신호의 값이 그 시간 또는 그 시간 근처에서의 레벨 신호의 예상 값으로부터 변할 때 생성되고, 레벨 이벤트 신호는, 플랜트 내의 장비 중 적어도 하나에서의 이상을 표시함 -.
- [0118] 또한 유사하게, 또 다른 관점에서 볼 때, 복수의 센서들을 포함하는 플랜트를 위한 모니터링 및/또는 제어 시스템이 또한 제공될 수 있고, 시스템은 하나 이상의 기능적으로 연결된 처리 유닛을 포함하고, 시스템은 다음을 행하도록 구성된다:
- [0119] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛에서, 센서 객체의 시계열 잔차 데이터를 제공하고 - 센서 객체는 복수의 센서들로부터의 센서들 중 적어도 일부의 그룹이고, 잔차 데이터는, 센서 객체의 센서들 각각에 대한, 센서의 측정된 출력과 센서의 예상 출력 사이의 차이인 잔차 신호를 포함함 -,
- [0120] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 연관 신호를 모니터링하고 - 연관 신호는, 시계열 잔차 데이터의 변동 및/또는 연관 구조를 표시함 -,
- [0121] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 연관 이벤트 신호를 생성한다 - 연관 이벤트 신호는, 주어진 시간에서 레벨 신호의 값이 그 시간 또는 그 시간 근처에서의 연관 신호의 예상 값으로부터 변할 때 생성되고, 연관 이벤트 신호는, 플랜트 내의 장비 중 적어도 하나에서의 이상을 표시함 -.
- [0122] 이 방법 또는 시스템은, 제안된 자동화된 데이터 주도 기법을 통해 센서 데이터에서 일반적이지 않은 거동 및

비정상적인 패턴들을 검출하는 데 사용될 수 있다. 본 교시들은, 대규모 센서 데이터세트들의 더 효율적인 추적을 허용함으로써, 예컨대, 향후에 조치가 요구될 수 있는 플랜트의 영역으로 초기 스테이지에서 작업자의 주의를 유도함으로써, 플랜트 작업자에게 유익할 수 있다. 이전에 약속된 바와 같이, 본 교시들은 또한, 플랜트와 관련된 도래할 유지보수 요건들의 예측을 제공하는 데 사용될 수 있다. 양상에 따르면, 본 교시들은 또한, 플랜트 유지보수 예상 및 그의 제어를 위한 자동화된 시스템을 실현하는 데 사용될 수 있다.

[0123] 사용자 인터페이스는, 사용자가 모니터링 시스템과 상호작용할 수 있게 하는 임의의 적합한 인간-기계 인터페이스("HMI")일 수 있다. 인간-기계 인터페이스("HMI")는, 모니터링 패널, 비디오 디스플레이 유닛(예컨대, LCD(액정 디스플레이), CRT(음극선관) 디스플레이, 또는 터치 스크린), 문자숫자식 입력 디바이스(예컨대, 키보드), 커서 제어 디바이스(예컨대, 마우스), 및/또는 신호 생성 디바이스(예컨대, 스피커) 중 임의의 하나 이상의 것을 포함할 수 있다. 그에 따라, HMI는, 예컨대, 패널, 스크린과 같은 시각적 인터페이스일 수 있고/거나 라우드스피커와 같은 오디오 인터페이스일 수 있다. 그에 따라서, 출력은, 사용자에게 디스플레이될 수 있고/거나 스피커를 통해 고지될 수 있다.

[0124] 처리 유닛은, 컴퓨터 또는 심지어 범용 처리 디바이스, 이를테면, 마이크로프로세서, 마이크로제어기, 중앙 처리 유닛("CPU") 등일 수 있다. 더 상세하게는, 처리 유닛은, CISC(복합 명령어 세트 컴퓨팅) 마이크로프로세서, RISC(축소된 명령어 세트 컴퓨팅) 마이크로프로세서, VLIW(매우 긴 명령어 워드) 마이크로프로세서, 또는 다른 명령어 세트들을 구현하는 프로세서 또는 명령어 세트들의 조합을 구현하는 프로세서들일 수 있다. 처리 유닛 또는 처리 수단은 또한, 하나 이상의 특수 목적 처리 디바이스, 이를테면, ASIC(주문형 집적 회로), FPGA(필드 프로그래밍가능 게이트 어레이), CPLD(복합 프로그래밍가능 로직 디바이스), DSP(디지털 신호 프로세서), 네트워크 프로세서 등일 수 있다. 본원에 설명된 방법들, 시스템들, 및 디바이스들은, DSP 내의, 마이크로제어기 내의, 또는 임의의 다른 사이드-프로세서 내의 소프트웨어로서, 또는 ASIC, CPLD, 또는 FPGA 내의 하드웨어 회로로서 구현될 수 있다. 또한 앞서 약속된 바와 같이, "처리 유닛" 또는 프로세서라는 용어는 또한, 하나 이상의 처리 디바이스, 이를테면, 다수의 컴퓨터 시스템들에 걸쳐 위치한 처리 디바이스들의 분산형 시스템(예컨대, 클라우드 컴퓨팅)을 지칭할 수 있고, 달리 특정되지 않는 한 단일 디바이스로 제한되지 않는다는 것이 이해되어야 한다. 더욱이, 처리 유닛들 중 임의의 하나 이상의 처리 유닛은, 다른 처리 유닛들과 상이한 물리적 위치에 위치될 수 있다.

[0125] 다른 관점에서 볼 때, 명령어들을 포함하는 컴퓨터 프로그램이 또한 제공될 수 있으며, 명령어들은, 명령어들이 복수의 센서들에 기능적으로 연결된 플랜트 모니터링 및/또는 제어 시스템의 임의의 하나 이상의 적합한 처리 유닛에 의해 실행될 때, 시스템으로 하여금, 본원에 개시된 방법 단계들을 수행하게 한다.

[0126] 예컨대, 명령어들을 포함하는 컴퓨터 프로그램이 제공될 수 있으며, 명령어들은, 프로그램이 복수의 센서들에 기능적으로 연결된 플랜트 모니터링 및/또는 제어 시스템의 하나 이상의 기능적으로 연결된 처리 유닛에 의해 실행될 때, 시스템으로 하여금 다음을 행하게 한다:

[0127] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 센서 객체의 시계열 잔차 데이터를 생성하게 하고 - 센서 객체는 복수의 센서들로부터의 센서들 중 적어도 일부의 그룹이고, 잔차 데이터는, 센서 객체의 센서들 각각에 대한, 센서의 측정된 출력과 센서의 예상 출력 사이의 차이인 잔차 신호를 포함함 - ,

[0128] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 레벨 신호를 모니터링하게 하고 - 레벨 신호는, 시계열 잔차 데이터의 집합적 시간 기반 변동을 표시함 - ,

[0129] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 연관 신호를 모니터링하게 하고 - 연관 신호는, 시계열 잔차 데이터의 변동 및/또는 연관 구조를 표시함 - ,

[0130] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 주어진 시간에서 레벨 신호의 값 및/또는 연관 신호의 값이 그 시간 또는 그 시간 근처에서의 개개의 신호의 예상 값으로부터 변할 때 이상 이벤트 신호를 생성하게 한다.

[0131] 유사하게, 다른 관점에서 볼 때, 명령어들을 포함하는 컴퓨터 프로그램이 또한 제공될 수 있으며, 명령어들은, 프로그램이 복수의 센서들에 기능적으로 연결된 플랜트 모니터링 및/또는 제어 시스템의 하나 이상의 기능적으로 연결된 처리 유닛에 의해 실행될 때, 시스템으로 하여금 다음을 행하게 한다:

[0132] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛에서, 센서 객체의 시계열 잔차 데이터를 제공하게 하고 - 센서 객체는 복수의 센서들로부터의 센서들 중 적어도 일부의 그룹이고, 잔차 데이터는, 센서 객체의 센서들 각각에

대한, 센서의 측정된 출력과 센서의 예상 출력 사이의 차이인 잔차 신호를 포함함 - ,

- [0133] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 레벨 신호를 모니터링하게 하고 - 레벨 신호는, 시계열 잔차 데이터의 집합적 시간 기반 변동을 표시함 - ,
- [0134] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 레벨 이벤트 신호를 생성하게 한다 - 레벨 이벤트 신호는, 주어진 시간에서 레벨 신호의 값이 그 시간 또는 그 시간 근처에서의 레벨 신호의 예상 값으로부터 변할 때 생성되고, 레벨 이벤트 신호는, 플랜트 내의 장비 중 적어도 하나에서의 이상을 표시함 - .
- [0135] 또한 유사하게, 또 다른 관점에서 볼 때, 명령어들을 포함하는 컴퓨터 프로그램이 또한 제공될 수 있으며, 명령어들은, 프로그램이 복수의 센서들에 기능적으로 연결된 플랜트 모니터링 및/또는 제어 시스템의 하나 이상의 기능적으로 연결된 처리 유닛에 의해 실행될 때, 시스템으로 하여금 다음을 행하게 한다:
- [0136] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛에서, 센서 객체의 시계열 잔차 데이터를 제공하게 하고 - 센서 객체는 복수의 센서들로부터의 센서들 중 적어도 일부의 그룹이고, 잔차 데이터는, 센서 객체의 센서들 각각에 대한, 센서의 측정된 출력과 센서의 예상 출력 사이의 차이인 잔차 신호를 포함함 - ,
- [0137] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 연관 신호를 모니터링하게 하고 - 연관 신호는, 시계열 잔차 데이터의 변동 및/또는 연관 구조를 표시함 - ,
- [0138] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 연관 이벤트 신호를 생성하게 한다 - 연관 이벤트 신호는, 주어진 시간에서 레벨 신호의 값이 그 시간 또는 그 시간 근처에서의 연관 신호의 예상 값으로부터 변할 때 생성되고, 연관 이벤트 신호는, 플랜트 내의 장비 중 적어도 하나에서의 이상을 표시함 - .
- [0139] 또 다른 관점에서 볼 때, 본원에 개시된 컴퓨터 프로그램이 저장되는 컴퓨터 판독가능 데이터 캐리어가 또한 제공될 수 있다. 그에 따라서, 플랜트 모니터링 및/또는 제어 시스템의 적합한 처리 유닛으로 하여금 본원에 개시된 임의의 방법 단계들을 실행하게 하는 프로그램을 저장하는 비-일시적인 컴퓨터 판독가능 매체가 또한 제공될 수 있다.
- [0140] 컴퓨터 판독가능 데이터 캐리어는, 본원에 설명된 방법론들 또는 기능들 중 임의의 하나 이상을 구현하는 명령어들의 하나 이상의 세트(예컨대, 소프트웨어)가 저장되는 임의의 적합한 데이터 저장 디바이스를 포함한다. 명령어들은 또한, 컴퓨터 판독가능 저장 매체를 구성할 수 있는 컴퓨터 시스템, 메인 메모리, 및 처리 유닛 또는 디바이스에 의한 명령어들의 실행 동안 메인 메모리 내에 그리고/또는 프로세서 내에 완전히 또는 적어도 부분적으로 상주할 수 있다. 명령어들은 추가로, 네트워크 인터페이스 디바이스를 통해 네트워크를 통해서 송신 또는 수신될 수 있다.
- [0141] 본원에 설명된 실시예들 중 하나 이상을 구현하기 위한 컴퓨터 프로그램은, 다른 하드웨어와 함께 또는 다른 하드웨어의 일부로서 공급되는 광학 저장 매체 또는 솔리드 스테이트 매체와 같은 적합한 매체 상에 저장 및/또는 분산될 수 있지만, 이를테면, 인터넷 또는 다른 유선 또는 무선 원격통신 시스템들을 통해, 다른 형태들로 또한 분산될 수 있다. 그러나, 컴퓨터 프로그램은 또한, 월드 와이드 웹(World Wide Web)과 같은 네트워크를 통해 제시될 수 있고, 그러한 네트워크로부터 데이터 프로세서의 작업 메모리 내로 다운로드될 수 있다.
- [0142] 다른 관점에서 볼 때, 컴퓨터 프로그램 요소를 다운로드로 이용가능하게 하기 위한 데이터 캐리어 또는 데이터 저장 매체가 또한 제공될 수 있으며, 이 컴퓨터 프로그램 요소는, 이전에 설명된 실시예들 중 하나에 따른 방법을 수행하도록 배열된다.
- [0143] "포함"이라는 단어는 다른 요소들 또는 단계들을 배제하지 않고, 단수형 표현(국제 출원 명세서에서의 "a" 또는 "an"의 부정관사)은 복수인 것을 배제하지 않는다. 단일 프로세서 또는 제어기 또는 다른 유닛이 청구항들에서 언급된 여러 항목들의 기능들을 이행할 수 있다. 특정 척도들이 서로 상이한 종속 청구항들에서 언급된다는 사실만으로는, 유리하게 하기 위해 이러한 척도들의 조합이 사용될 수 없다는 것을 나타내지 않는다. "기능적으로 연결"이라는 용어는 또한 "동작가능하게 연결"되거나 직접 또는 간접 방식으로 연결되는 것으로 해석될 수 있다. 청구항들에서의 임의의 참조 부호들은 범위를 제한하는 것으로 해석되지 않아야 한다.

도면의 간단한 설명

[0144] 첨부된 도면들을 참조하여 이하에서 예시적인 실시예들이 설명된다.

도 1은 본 교시들의 특정 양상들이 적용될 수 있는 예시적인 산업 플랜트를 도시한다.

도 2는 본 교시들에 따라 생성되는 신호들 중 일부에 따른 블록도를 도시한다.

도 3은 본 교시들에 따른 일반 분산 통계 신호의 플롯을 도시한다.

도 4는 제어 제한들에 대한 주식의 효과를 도시한다.

도 5는 추세 검출의 특정 예들을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0145] 도 1은 본 교시들의 적어도 특정 양상들이 어떻게 적용될 수 있는지를 예시하는 목적으로 플랜트(101)의 예(100)를 도시한다. 레이아웃(100)에서, 산업 플랜트(101)가 도시된다. 플랜트는 복수의 장비 및 센서들을 포함한다. 플랜트는 또한, 3개의 부분(110a, b, 및 c)으로 분산된 것으로 도시되는 처리 유닛(110)을 포함한다.
- [0146] 플랜트의 일부인 제1 그룹(102)의 장비 및 센서들 및 제2 그룹(103)의 장비 및 센서들이 도시된다. 플랜트(101)는, 하나 이상의 산업 제품(150)을 생산하는 데 사용된다. 제품(150)은, 앞서 약속된 바와 같은 임의의 물리적 제품 또는 서비스 제품일 수 있다. 예컨대, 제품(150)은 화학 또는 제약 제품일 수 있다. 예(100)에 도시된 아키텍처 또는 프로세스는 본 교시들의 일반성 또는 범위에 대해 중요하지 않다. 이러한 예에서, 제1 그룹(102)은 제2 그룹(103)과 상이한 위치에 위치된다. 중간 제품은 제1 그룹(102)의 출력에 의해 제2 그룹(103)에 대한 입력 제품으로서 제공된다. 중간 제품은, 예컨대, 긴 파이프라인일 수 있는 파이프라인(188)과 같은 수송 매체를 통해 제공되는 것으로 도시된다. 이는, 제1 그룹(102) 장비의 대부분이 제2 그룹(103) 장비로부터 상대적으로 격리될 수 있다는 것을 나타내도록 도시된다. 예컨대, 파이프라인(188)을 통해 전달되고 있는 중간 제품의 파라미터들로 인해, 제1 그룹(102)과 제2 그룹(103) 사이에 상호의존성들이 존재할 수 있다. 그러나, 2개의 그룹(102 및 103)에 공통인 특정 인자들, 예컨대, 주변 압력 및 온도가 존재할 수 있다. 그러한 주변 파라미터들은, 양측들 상의 프로세스 파라미터들 또는 센서 출력들에 영향을 줄 수 있다. 프로세스에 대한 관련성에 따라, 그러한 주변 파라미터들 중 임의의 것은 그에 따라, 앞서 공변 신호로서 지칭된 것으로 간주될 수 있다.
- [0147] 제1 그룹(102) 및 제2 그룹(103) 둘 모두는, 복수의 센서들, 예컨대, 온도 센서들(132, 133, 142, 및 148), 압력 센서들(131, 135, 136, 및 145), 유동 센서들(138, 143, 및 147)을 포함한다. 둘 모두의 그룹들 내의 장비는, 열 교환기(130), 분리 챔버(139), 반응 탱크(120), 냉각 유닛(140), 필터(151), 팬(141), 및 펌프(134, 144, 및 149)를 포함한다.
- [0148] 제1 그룹(102)으로부터의 센서들은, 처리 수단(110)에 의해, 또는 더 구체적으로는, 제1 처리 유닛(110a)에 의해 모니터링된다. 제1 그룹(102) 내의 센서들로부터의 신호들은 제1 통신 수단(105a)을 통해 수신되는 것으로 도시된다. 통신 수단(105a)은, 센서들로부터 신호들 또는 데이터를 송신하기에 적합한 유선, 무선, 또는 이들의 조합의 임의의 수단일 수 있다. 예컨대, 제1 통신 수단(105a)은 도시된 바와 같은 버스일 수 있다. 제1 처리 수단(110a)에 의해 수신된 데이터는, 제1 처리 수단(110a)에 의해 그리고/또는 임의의 다른 처리 수단(110b 및 c)에 의해 처리될 수 있다. 적어도 일부 데이터는 또한 메모리 또는 데이터베이스(111)에 저장될 수 있다. 데이터베이스(111)는, 단일 장소에 있을 수 있거나 111a, b, 및 c로 도시된 바와 같이 분산될 수 있다. 모니터링에 부가하여, 제1 처리 유닛(110a)은 또한, 예컨대 제어 버스(106a)를 통해 제어 기능들을 수행할 수 있다. 제1 처리 유닛(110a)의 제어 버스(106a)는, 버스(105a)의 맥락에서 앞서 논의된 바와 같은 임의의 통신 수단일 수 있다. 일부 경우들에서, 버스(105a) 및 제어 버스(106a)는 심지어 동일한 버스 또는 통신 수단일 수 있다. 제어 기능들은, 예컨대, 펌프(134)의 제어를 포함할 수 있다. 처리 유닛(110)은 심지어 HMI(112)에 의해 제공될 수 있다. HMI(112)는, 도시된 바와 같이 분산형 처리 유닛들(110a, b, 및 c) 각각에서 제공될 수 있거나, 또는 그들 중 임의의 하나 이상에서 제공될 수 있다. HMI는 모니터링 패널 또는 비디오 스크린 및 사용자가 처리 수단(110)과 상호작용하기 위한 하나 이상의 입력 디바이스, 이를테면, 키보드 또는 마우스를 포함할 수 있다. HMI는 또한, 오디오 디바이스, 이를테면 라우드스피커를 포함할 수 있다. 경보들과 같은 이벤트들이 HMI를 통해 청각적으로 및/또는 시각적으로 통신될 수 있다.
- [0149] 유사하게, 제2 그룹(103)으로부터의 센서들은, 처리 수단(110)에 의해, 또는 더 구체적으로는, 제2 처리 수단(110b)에 의해 모니터링된다. 제2 그룹(103) 내의 센서들로부터의 신호들은 제2 통신 수단(105b)을 통해 수신되는 것으로 도시된다. 제2 통신 수단(105b)은, 센서들로부터 신호들 또는 데이터를 송신하기에 적합한 유선, 무선, 또는 이들의 조합의 임의의 수단일 수 있다. 예컨대, 제2 통신 수단(105b)은 도시된 바와 같은 버스일 수 있다. 제2 처리 수단(110b)에 의해 수신된 데이터는, 제2 처리 수단(110b)에 의해 그리고/또는 임의의 다른 처리 수단(110a 및 c)에 의해 처리될 수 있다. 여기서 또한, 적어도 일부 데이터가 또한 메모리 또는 데이터베이스

이스(111)에 저장될 수 있다. 모니터링에 부가하여, 제2 처리 유닛(110b)은 또한, 예컨대 제2 제어 버스(106b)를 통해 제어 기능들을 수행할 수 있다. 제어 기능들은, 예컨대, 펌프들(144 및 149), 팬(141), 및 밸브(146)의 제어를 포함할 수 있다. 제2 처리 유닛(110b)의 제2 제어 버스(106b)는 임의의 통신 수단일 수 있다. 일부 경우들에서, 버스(105b) 및 제어 버스(106b)는 심지어 동일한 버스 또는 통신 수단일 수 있다.

[0150] 제1 처리 유닛(110a) 및 제2 처리 유닛(110b)은, 유선, 무선 또는 이들의 조합의 임의의 적합한 통신 매체일 수 있는 데이터 링크(190)를 통해 기능적으로 연결된다. 그에 따라, 처리 유닛들은, 센서 데이터, 상태 데이터, 및 이벤트 신호들과 같은 임의의 데이터 또는 신호들을 포함할 수 있는 데이터를 교환할 수 있다. 데이터 링크는 심지어, 하나의 데이터베이스 또는 메모리로부터 다른 데이터베이스 또는 메모리로 데이터를 전송하기 위해 사용될 수 있다.

[0151] 일부 경우들에서, 별개의 처리 유닛, 예컨대, 제3 처리 유닛(110c)이 제공될 수 있다. 제3 처리 유닛(110c)은 상위 계층구조에 있을 수 있고, 플랜트 레벨 모니터링 및/또는 제어 시스템일 수 있다. 제3 처리 유닛(110c)은 플랜트와 동일한 위치에 있을 수 있거나, 또는 심지어, 적어도 부분적으로 플랜트와 다른 위치에 있을 수 있는데, 예컨대, 그것은 클라우드 기반 플랫폼일 수 있다. 일부 경우들에서, 제3 처리 유닛(110c)은 플랜트 내에 있을 수 있지만 그의 데이터베이스(111c)가 클라우드 저장소로서 구현될 수 있거나, 그 반대가 또한 가능하다. 감시 처리 유닛(110c)은 심지어 플랜트(101)와 상이한 사이트에 위치한 다른 플랜트에 위치될 수 있다. 일부 경우들에서, 제3 처리 유닛(110c)은 심지어, 제1 및 제2 처리 유닛들(110a 및 b) 사이에 위치될 수 있는데, 즉, 데이터 링크(190)가 2개의 섹션으로, 즉, 제1 유닛(110a)과 제3 유닛(110c) 사이의 제1 섹션 및 제3 유닛(110c)과 제2 유닛(110b) 사이의 제2 섹션으로 분할된다. 처리 유닛들 또는 플랜트의 특정 아키텍처는 본 교시들의 범위 또는 일반성에 필수적이지 않다.

[0152] 다른 플랜트는 심지어 다른 국가에 위치될 수 있다. 그를 위해, 심지어 제1 그룹(102) 및 제2 그룹(103)이 상이한 플랜트들 또는 국가들에 위치되는 것이 가능하다. 예컨대, 가스 파이프라인을 통해 연결된 공급자 플랜트 및 소비자 플랜트가 상이한 국가들에 위치될 수 있다.

[0153] 처리 유닛들(110a, b, 및 c) 및 데이터베이스들(111a, b, c) 중 임의의 것은, 예컨대, 제3자에 의해 제공되는 클라우드 기반 서비스로서 구현될 수 있다. 일부 경우들에서, 처리 유닛들(110a, b, 및 c) 및/또는 데이터베이스들(111a, b, c)은 동일한 장소에 있을 수 있거나 이들은 심지어 동일한 유닛일 수 있다.

[0154] 장비를 모니터링하기 위해, 종래의 시스템은 하나 이상의 센서의 상태를 개별적으로 모니터링할 수 있다. 예컨대, 온도 센서(148)로부터의 출력 신호. 상승하는 온도는, 예컨대, 필터(151)에서의 폐색에 의해 야기된 감소된 유동으로 인한 펌프(149)의 과열을 표시하는 데 사용될 수 있다. 그러나, 실제로, 온도의 증가는 주변 온도 증가로 인해 야기되었을 수 있다. 그에 따라, 그러한 시스템은 이상을 나타내는 거짓 긍정 이벤트들로 이어질 수 있다.

[0155] 문제를 해결하기 위해, 제2 처리 유닛(111b)은, 온도 센서(148)의 측정 또는 관측된 출력 값을 그 시간에서의 그의 예상 값과 비교할 수 있다. 예상 값은 온도 센서(148)의 예상 상태 모델에 의해 생성될 수 있다. 예상 상태 예측을 개선하기 위해, 모델, 예컨대, 신경망은, 바람직하게는, 바람직한 동작 조건들 하에서의 센서(148)의 이력 시계열 데이터를 사용하여 훈련될 수 있다. 예측을 추가로 개선하기 위해, 예상 상태 모델은, 센서(148)의 출력에 영향을 주는 공변량 신호들을 입력받을 수 있다. 예컨대, 주변 온도는 공변량 신호들 중 하나일 수 있다. 센서(148)의 출력에 영향을 주는 제2 그룹(103)으로부터의 다른 신호들 또는 파라미터들이 존재할 수 있고, 그러한 공변량들은 예상 상태 모델의 모델 구축 단계 동안 인식된다. 처리 수단(110)은, 전체 플랜트(101)의 전체 공변량 풀을 사용하여, 센서(148)의 출력에 대해 공변량들 중 어느 공변량이 영향을 갖는지 또는 예측 능력을 보유하는지를 이력 데이터를 사용하여 확인할 수 있다. 그에 따라, 센서(148)의 출력에 대해 측정 가능한 영향을 주는 공변량들은 모델 입력들로서 선택된다. 모델이 처리 유닛(110) 상에 배치될 때, 관측된 센서 출력 값과 그 주어진 시간에서의 예상 상태 모델의 출력 사이의 차이인 잔차 신호가 센서(148)의 출력에 대해 생성된다. 센서가 정상적으로 거동하고 있는 경우, 잔차 신호는 대부분 랜덤 잡음일 것이다.

[0156] 이상 검출을, 잡음이 있는 스파이크들 및 잔차 신호에서의 그러한 불완전성들에 대해 더 영향을 받지 않게 하기 위해, 본 교시들은 센서 객체를 창출하는 것을 제안한다. 센서 객체는, 함께 통합되고 모니터링되는 센서 잔차 신호들의 그룹을 지칭한다. 센서 잔차 신호들의 그룹은, 사전 선택된 복수의 센서들로부터 수신되는 시계열 잔차 신호들이다. 사전 선택된 복수의 센서들은 처리 유닛(110)을 통해 수동으로 또는 적어도 부분적으로 자동으로 선택될 수 있다. 처리 유닛은, 예컨대, 센서 응답에서의 유사성, 센서 유형들, 공변량 의존성들, 또는 이들의 조합에 기반하여 이를 결정할 수 있다. 이어서, 레벨 신호를 컴퓨팅하기 위해 센서 잔차 신호들의 그룹 또

는 잔차 데이터가 처리 유닛(110)에 의해 분석된다. 레벨 신호는, 시계열 잔차 데이터의 집합적 시간 기반 변동을 표시한다. 이어서, 시간 의존적 레벨 신호 값이 그 시간에서의 예상 레벨 신호 값과 비교된다. 처리 유닛(110)은, 임의의 주어진 시간에, 레벨 신호의 값이 그 시간 또는 그 시간 근처에서의 예상 레벨 신호 값을 넘어 변할 때 레벨 이벤트 신호를 생성할 수 있다. 레벨 이벤트 신호는 플랜트 내의 장비 중 적어도 하나에서의 이상을 표시한다. 이러한 예에서, 레벨 신호가 예상 레벨 신호를 위반할 때, 처리 유닛(110)은 경보를 송출할 수 있다. 또한, 처리 유닛(110)은, 레벨 이벤트 신호가 생성된 시간에 또는 그 시간 근처에서 센서 객체 내의 센서들 중 어느 센서에 대한 센서 출력이 예상 센서 출력 값을 위반했는지를 확인할 수 있다. 이는, 이상의 소스를 찾기 위해 처리 유닛(110)에 의해 사용된다.

[0157] 예상 레벨 신호 값은 바람직하게는, 센서 객체 모델을 사용하여 처리 유닛(110)에 의해 생성된다. 센서 객체 모델은, 이력 잔차 데이터를 사용하여 훈련된 신경망 또는 예측 모델이다.

[0158] 바람직하게는, 예상 레벨 신호는 레벨 신호가 놓일 수 있는 값 범위로서 제공된다. 그에 따라, 레벨 신호에 대한 하나 이상의 제한 값이 제공될 수 있다. 레벨 이벤트 신호는, 관측된 레벨 신호 값이 예상 레벨 신호 제한을 넘게 될 때 생성된다. 예상 레벨 신호 제한은, 예상 레벨 신호 상한 및/또는 예상 레벨 신호 하한일 수 있다.

[0159] 바람직하게는, 처리 유닛은, 이상 검출을, 잔차 신호에서의 잡음이 있는 스파이크들에 대해 더 영향을 받지 않게 하기 위해 다른 점수를 컴퓨팅한다. 즉, 시간 의존적 연관 신호 값이 생성된다. 그에 따라, 연관 신호를 컴퓨팅하기 위해 센서 잔차 신호들의 그룹 또는 잔차 데이터가 처리 유닛(110)에 의해 분석된다. 연관 신호는, 시계열 잔차 데이터의 변동 및/또는 연관 구조를 표시한다. 이어서, 시간 의존적 연관 신호 값이 그 시간에서의 예상 연관 신호 값과 비교된다. 처리 유닛(110)은, 임의의 주어진 시간에, 연관 신호의 값이 그 시간 또는 그 시간 근처에서의 예상 연관 신호 값을 넘어 변할 때 연관 이벤트 신호를 생성할 수 있다. 연관 이벤트 신호는 플랜트 내의 장비 중 적어도 하나에서의 이상을 표시한다. 예를 다시 참조하면, 연관 신호가 예상 연관 신호를 위반할 때, 처리 유닛(110)은 경보를 송출할 수 있다. 또한, 처리 유닛(110)은, 레벨 이벤트 신호가 생성된 시간에 또는 그 시간 근처에서 센서 객체 내의 센서들 중 어느 센서에 대한 센서 출력이 예상 센서 출력 값을 위반했는지를 확인할 수 있다. 이는 또한, 이상의 소스를 찾기 위해 처리 유닛(110)에 의해 사용될 수 있다.

[0160] 예상 연관 신호 값은 바람직하게는, 센서 객체 모델을 사용하여 처리 유닛(110)에 의해 생성된다.

[0161] 바람직하게는, 예상 연관 신호는 연관 신호가 놓일 수 있는 값 범위로서 제공된다. 그에 따라, 레벨 신호에 대한 하나 이상의 제한 값이 제공될 수 있다. 연관 이벤트 신호는, 관측된 연관 신호 값이 예상 연관 신호 제한을 넘게 될 때 생성된다. 예상 연관 신호 제한은 예상 연관 신호 상한 및/또는 예상 연관 신호 하한일 수 있다. 제한은 또한 제어 제한들로 지칭될 수 있다.

[0162] 레벨 신호 및 연관 신호 중 임의의 하나 또는 둘 모두가 그들 개개의 예상 또는 제한 값들을 위반하는 것은 이상을 표시하는 것으로 간주될 수 있다.

[0163] 느리게 발전될 수 있는 이상들을 포착하기 위해, 처리 유닛(110)은 심지어 추세 검출을 수행할 수 있다. 모델들의 재훈련으로 인해, 느린 동향을 보이는 드리프트들은 레벨 및 연관 모니터링에 의한 관측에서 무시될 수 있다. 값들, 즉, 센서의 이력 데이터의 강도, 평활도, 및 현재성, 유행성 또는 동시성이 센서 시계열 데이터에서의 드리프트를 검출하기 위해 처리 유닛에 의해 계산된다.

[0164] 위의 논의에서, 특정 기능들이 "처리 유닛(110)"에 의해 수행되는 것으로 언급되었을 수 있지만, 일부 경우들에서, 그 기능들은 심지어, 하나 이상의 처리 유닛(110a, b, 및 c) 중 임의의 처리 유닛을 통해 수행되는 것으로 구현될 수 있다는 것을 이해될 것이다. 일부 경우들에서, 추가적인 처리 유닛들이 존재할 수 있다는 것이 또한 이해될 것이다. 예컨대, 일부 센서들에는 심지어 그 센서에 대한 잔차 신호를 계산하도록 구성되는 전용 프로세서가 제공될 수도 있다. 그 경우에, 그러한 센서들에 대한 잔차 신호는 입력으로서 처리 유닛(110)에 직접 제공될 수 있다.

[0165] 유사하게, 제1 그룹(102)에 대해 또한, 처리 유닛(110), 예컨대, 일부 경우들에서는 제1 처리 유닛(110a)은, 그 객체에 대한 대응하는 레벨 및 연관 신호들 중 하나 또는 둘 모두를 통해 다른 센서 객체를 모니터링할 수 있다. 각각의 그룹은 하나 초과와 센서 객체를 가질 수 있다.

[0166] 이벤트 신호에 대한 응답으로, 처리 유닛은, 예컨대, 이전에 약속된 바와 같이, 이상의 소스를 찾기 위해 센서 데이터를 백트래킹할 수 있다. 부가적으로, 처리 유닛은, 예컨대, 특정 중단을 방지하도록 유지보수가 수행되

어야 하는 추정 날짜 또는 시간을 제공함으로써, 이상에 대한 유지보수 요건들을 예상할 수 있다. 중단은, 유지보수를 위한 계획된 섯다운에 비교하여 생산성의 손실로서 또는 낭비로서 계산될 수 있다.

[0167] 도 2는 생성 및 모니터링되는 신호를 표현하는 블록도(200)를 도시한다. 좌측 상의 차트들은 센서 객체로 그룹화되는 5개의 상이한 센서의 관측된 값 및 예상 값을 도시한다. 그룹화는 바람직하게는, 예컨대, 자기-조직화 맵을 사용하여 자동으로 행해지지만, 수동 피드백에 적어도 부분적으로 기반하여 행해질 수도 있다.

[0168] 제1 세트의 곡선들(201a)은 제1 센서로부터의 측정된 출력 신호 및 그의 예상 출력에 관한 것이다. 유사하게, 곡선들(201b - e)은 각각, 제2 내지 제5 센서로부터의 각각의 측정된 출력 신호 및 그들의 예상 출력들에 관한 것이다. 각각의 센서의 측정 또는 관측된 출력들을 그의 개개의 예상 출력과 비교함으로써, 개개의 잔차 신호들(202a - e)이 획득된다. 예컨대, 제1 잔차 신호(202a)는 제1 센서에 관한 것이다. 알 수 있는 바와 같이, 곡선들(201a - e)로 도시된 개개의 센서 출력들이 다른 센서들로부터의 출력들과 상당히 상이했다 하더라도, 잔차 신호들(202a - e)은 더 균질하다. 이전에 논의된 바와 같이, 센서 출력들로부터의 필요치 않은 정보가 잔차 신호들을 생성하는 것에 의해 제거되었을 수 있다.

[0169] 신호들은 시간 의존적이거나 또는 신호들은 시계열 값들을 포함한다는 것이 명백할 것이다. 잔차 신호들(202a - e)을 결합함으로써, 다차원 잔차 데이터(203)를 포함하는 센서 객체(204)가 실현된다. 잔차 데이터(203)로부터, 시간 의존적 레벨 신호 또는 점수(205)가 생성되는 것으로 도시된다. 레벨 신호(205)에는, 레벨 신호가 유효하게 놓일 수 있는 예상 값들의 확률 공간을 표현하는 예상 레벨 신호 제한 값(207)이 제공된다. 예상 레벨 신호 제한 값(207)은 또한 시간 의존적 값일 수 있다. 도시된 바와 같이, 시간(209) 직후에, 예상 레벨 신호 제한 값(207)은 센서 객체 모델에 의해 감소된다. 또한, 205p는, 레벨 신호(205)에서, 상기 신호가 그 시간에서의 레벨 신호의 예상 값 또는 예상 레벨 신호 제한 값(207)을 넘어 변하는 피크를 표현한다는 것을 알 수 있다. 그에 따라서, 그러한 경우에, 레벨 이벤트 신호가 처리 유닛(110)에 의해 생성될 것이다. 이어서, 처리 유닛은, 예컨대, 센서 신호들(201a - e) 중 하나 이상을 분석함으로써 이상의 근본 원인을 추적할 수 있다. 처리 유닛은, 신호 변화에 가장 많은 기여를 유발하는 하나 이상의 센서를 찾기 위해 영향 크기 계산을 사용할 수 있다. 경보가 시각적 모니터링 패널(210) 상에 디스플레이될 수 있다. 예컨대, 패널 상에서 관련 장비가 강조될 수 있다.

[0170] 또한, 잔차 데이터(203)로부터, 시간 의존적 연관 신호 또는 점수(206)가 생성되는 것으로 도시된다. 연관 신호(206)에는, 예상 연관 신호 제한 값(208), 또는 더 구체적으로는, 연관 신호 상한 값(208a) 및 연관 신호 하한 값(208b)이 제공된다. 이러한 제한들 사이의 거리는, 연관 신호가 유효하게 놓일 수 있는 예상 값들의 확률 공간을 표현한다. 예상 연관 신호 제한 값들(208a 및 b)은 또한 시간 의존적 값들일 수 있다. 206p는, 연관 신호(206)에서, 상기 신호가 그 시간에서의 연관 신호의 상위 예상 값들 또는 예상 연관 신호 상한 값(208a)을 넘어 변하는 피크를 표현한다는 것을 알 수 있다. 그에 따라서, 그러한 경우에, 연관 이벤트 신호가 처리 유닛(110)에 의해 생성될 것이다. 이어서, 처리 유닛은, 예컨대, 센서 신호들(201a - e) 중 하나 이상을 분석함으로써 이상의 원인을 추적할 수 있다. 처리 유닛은, 신호 변화에 가장 많은 기여를 유발하는 하나 이상의 센서를 찾기 위해 영향 크기 계산을 사용할 수 있다. 연관 점수는 또한, 잔차 신호들의 동향의 변화율을 검출할 수 있다. 유사하게, 경보가 시각적 모니터링 패널(210) 상에 디스플레이될 수 있다.

[0171] 일부 경우들에서, 점수들 중 어느 하나 또는 둘 모두에 대한 이벤트 신호가, 예상 상태들로부터의 잔차 데이터에서의 편차를 초래하는 플랜트에서의 활동에 의해 야기되는 것이 가능하다. 그러한 활동은, 관측된 상태들의 거동이 변하는 수리 또는 다른 이벤트일 수 있다. 그러한 경우들에서, 사용자는 이벤트가 무엇에 의해 야기되는지를 인지할 수 있다. 사용자는 이어서, 특정 분류 또는 유형에 따라 이벤트에 주석부기할 기회를 갖는다. 그에 따라, 하나 이상의 주석이 모델에 피드백될 수 있으며, 이에 따라, 모델은 향후에 그러한 이벤트들을 분류하도록 훈련된다.

[0172] 도 3은 센서 객체 데이터의 변동 및 연관 구조를 컴퓨팅하기 위해 사용될 수 있는 일반화된 분산("GV")의 플롯(300)을 도시한다. 그에 따라, GV는 연관 신호(206)를 생성하는 데 사용될 수 있다. 플롯(300)은, Y 축(301) 상에 일반화된 분산 값이 있고 X 축(302) 상에 시간이 있는 연관 신호(306)를 도시한다. 제어 상한("UCL")(308a) 및 제어 하한("LCL")(308b)으로 또한 지칭될 수 있는 제한 값들(308)이 또한 도시된다. 이러한 값들(308a 및 b) 사이의 거리(310)는, 연관 신호(306)의 값이 유효하게 놓일 수 있는 제어 범위 또는 확률 공간을 표현한다. 그에 따라, 임의의 주어진 시간에 제어 범위(310) 내에 놓이는 값들은 그 시간에서의 예상 값들로 지칭될 수 있다. 제어 범위(310)가 또한 시간 의존적일 수 있지만, 이러한 경우에서, 그것은 일정한 것으로 도시된다.

- [0173] 제1 시간 기간(304) 내에서, 연관 신호(306)의 값이 예상 값으로부터 변했거나, 이러한 경우에는, 그 시간 또는 그 시간 근처에서의 제어 하한(308b)을 넘어 변했다는 것을 알 수 있다. 그에 따라서, 이러한 경우에는, 연관 이벤트 신호가 창출 또는 생성될 것이다.
- [0174] 유사하게, 제2 시간 기간(305) 내에서, 연관 신호(306)의 값이 예상 값으로부터 다시 변했거나, 이러한 경우에는, 먼저 제어 하한(308b)을 넘어 그리고 이어서 제어 상한(308a)을 넘어 변했다. 그에 따라서, 이러한 경우에는 또한, 하나 이상의 연관 이벤트 신호가 생성될 것이다.
- [0175] 그러한 차트(300)는 또한, 시간 경과에 따른 신호들의 수치 통계를 모니터링하는 데 사용되는 제어 차트로 지칭될 수 있다. 유사한 제어 차트가 또한 레벨 신호 값 통계에 대해 생성될 수 있다.
- [0176] 도 4는 훈련 데이터의 관련성 또는 집중을 개선하기 위해 주석이 어떻게 사용될 수 있는지를 예시하는 2개의 차트(400)를 도시한다. 차트들(400)은 제어 차트들로서 도시된다. 좌측 제어 차트(430a)는 점수 신호(490)에 대한 제어 제한들(410 및 420a)을 도시한다. 이러한 경우에는 점수 신호는 연관 신호이다. 그에 따라서, Y 축은 연관 신호 값, 예컨대, GV 통계이다. X 축(302)은 시간을 표현한다. 차트는, 신호(490)에 대한 급격하게 높은 값들을 나타내는 피크 구역(455)을 갖는다. 그러한 높은 값들은, 센서 객체 내의 센서들을 포함하는 장비의 특정 부분에서의 유지보수 활동과 같은 비정상적인 이벤트로 인해 발생했을 수 있다. 차트는 또한, 센서 모델을 훈련시키는 데 사용될 수 있는 시간 윈도우를 구성하는 시작 시간(401) 및 종료 시간(402)을 도시한다. 좌측 차트(430a)가 센서 모델을 훈련시키는 데 사용되었다면, 제어 제한은, 도시된 바와 같이, 즉, 주석부기되지 않은 차트(430a)에 대한 제어 상한(420a), 및 제어 하한(410)으로서 결정될 것이다. 그러한 높은 제어 상한(420a)은 그 시간에서의 예상 값으로부터의 점수 신호의 변화를 검출하는 데 적절하지 않을 수 있다는 것이 인식될 것이다. 그에 따라서, 일부 이상 이벤트들이 플래그 지정되지 않을 수 있다.
- [0177] 이는, 주석(460)을 주석 시간 윈도우(440) 내에 배치함으로써 해결될 수 있다. 그에 따라서, 처리 유닛(110)은, 모델을 훈련시키는 데 피크 구역(455)으로부터의 데이터를 무시할 것이다. 주석의 효과는, 주석부기된 차트(430b)의 제어 상한(420b)의 관점에서 보여질 수 있다. 후자의 제어 상한(420b)은 이제 더 현실적이다. 주석이 점수 신호(490)의 높은 값들에만 관련되기 때문에, 제어 하한(410)은 영향을 받지 않는다. 그에 따라, 주석은, 정상 동작 구역에서 훈련 데이터의 가중치를 보정하는 데 사용될 수 있다.
- [0178] 주석과 유사하게, 시간 윈도우, 즉, 시작 시간(401)과 종료 시간(402) 사이에 인클로징된 시간 기간의 선택이 또한 처리 수단에 의해 선택되며, 이에 따라, 선택된 윈도우는 센서 객체의 정상 거동을 반영한다. 주석들은 또한, 바람직한 그러한 윈도우들을 마킹하는 데 사용될 수 있다. 그에 따라, 제어 제한들은 이상들이 더 양호하게 검출될 수 있도록 조정될 수 있다.
- [0179] 이전에 논의된 바와 같이, 제어 제한들은 통계적 분위수 제한들일 수 있다.
- [0180] 도 5는 처리 수단이 추세 검출을 어떻게 수행할 수 있는지를 나타내기 위한 예시적인 차트들(501 - 500)를 도시한다. 제안된 바와 같은 추세 검출은, 적어도 1주일 길이의 시간 윈도우 내의 장기 데이터에 대한 3개의 메트릭 값을 컴퓨팅하는 것을 포함한다. 3개의 메트릭 값은, 강도, 평활도, 및 현재성 또는 실제성이다. 추세 검출은 또한 센서 객체에 대해 사용된다. 다음의 예들에서, 0과 1 사이의 값이 메트릭들 각각에 대해 배정되며, 여기서, 0은 거짓을 표시하고 1은 참을 표시한다. 일반적으로, 값들은 0과 1 사이에 있으며, 추세의 특성 또는 메트릭의 확률을 표시한다. 아래에 표시된 값들은 예들이고 위에 특정된 제한들은 절대적이지 않다는 것이 인식될 것이다. 예컨대, 값 중 임의의 값이 0과 100 사이에 놓이는 것과 같은 스케일링 인자가 적용될 수 있다. 그에 따라, 본원에 언급된 값들이 절대적인 의미로 특정되어 취해지지 않아야 한다. 추세의 방향을 특정하기 위해, 부호가 또한 강도 값에 배정될 수 있다.
- [0181] 제1 차트(501)는 상승하는 추세의 신호를 도시하며, 제1 차트(501)에 대해 컴퓨팅된 메트릭 값들은, 강도: 1, 평활도: 0.9, 실제성: 1이다.
- [0182] 제2 차트(502)는, 하위 잡음 플로어(noise floor)와 상위 잡음 플로어 사이에 포함되는 급격하게 상승하는 신호를 도시한다. 그에 따라, 추세는 거의 사라졌다. 제2 차트(502)에 대해 컴퓨팅된 메트릭 값들은, 강도: 0.69, 평활도: 0.98, 실제성: 0.25이다.
- [0183] 제3 차트(503)는 삼각 파형 형태의 신호를 도시한다. 제3 차트(503)에 대해 컴퓨팅된 메트릭 값들은, 강도: 0.1, 평활도: 0, 실제성: 0.24이다.
- [0184] 제4 차트(504)는, 초기의 잡음이 있는 부분 및 그 후의 상승하는 추세를 갖는 신호를 도시한다. 제4 차트(50

4)에 대해 컴퓨팅된 메트릭 값들은, 강도: 0.73, 평활도: 0.97, 실제성: 1이다.

- [0185] 제5 차트(505)는, 초기의 상승하는 추세 및 그 후의 상위 고평탄부(plateau)를 갖는 신호를 도시한다. 제4 차트(504)에 대해 컴퓨팅된 메트릭 값들은, 강도: 0.77, 평활도: 0.97, 실제성: 0.28이다.
- [0186] 플랜트를 모니터링하기 위한 방법, 플랜트를 위한 모니터링 및/또는 제어 시스템, 및 본원에 개시된 관련 방법 단계들 중 임의의 방법 단계를 구현하는 컴퓨터 소프트웨어 제품에 대한 다양한 예들이 위에 개시되었다. 그러나, 관련 기술분야의 통상의 기술자들은, 첨부된 청구항들 및 그들의 등가물들의 사상 및 범위로부터 벗어나지 않으면서 그러한 예들에 대해 변경들 및 수정들이 이루어질 수 있다는 것을 이해할 것이다. 추가로, 본원에 논의된 방법 및 제품 실시예들로부터의 양상들이 자유롭게 조합될 수 있다는 것이 인식될 것이다.
- [0187] 본 교시들의 특정 실시예들이 다음의 항목들로 요약된다.
- [0188] 항목 1.
- [0189] 복수의 센서들 및 하나 이상의 기능적으로 연결된 처리 유닛을 포함하는 플랜트를 모니터링하기 위한 방법으로, 방법은 다음을 포함한다:
 - [0190] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛에서, 센서 객체의 시계열 잔차 데이터를 제공하는 단계 - 센서 객체는 복수의 센서들로부터의 센서들 중 적어도 일부의 그룹이고, 잔차 데이터는, 센서 객체의 센서들 각각에 대한, 센서의 측정된 출력과 센서의 예상 출력 사이의 차이인 잔차 신호를 포함함 -,
 - [0191] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 레벨 신호를 모니터링하는 단계 - 레벨 신호는, 시계열 잔차 데이터의 집합적 시간 기반 변동을 표시함 -,
 - [0192] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 연관 신호를 모니터링하는 단계 - 연관 신호는, 시계열 잔차 데이터의 변동 및/또는 연관 구조를 표시함 -,
 - [0193] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 주어진 시간에서 레벨 신호의 값 및/또는 연관 신호의 값이 그 시간 또는 그 시간 근처에서의 개개의 신호의 예상 값으로부터 변할 때 이상 이벤트 신호를 생성하는 단계.
- [0194] 항목 2.
- [0195] 항목 1에 따른 방법에서, 개개의 예상 값 중 임의의 예상 값이, 대응하는 예상 값 제한으로서 제공되어, 주어진 시간에 대한, 이상 이벤트가 생성됨이 없이 대응하는 신호가 유효하게 가질 수 있는 복수의 예상 값들이 범위로서 그리고/또는 이산 값들로서 특정된다.
- [0196] 항목 3.
- [0197] 항목 1에 따른 방법에서, 예상 값 또는 예상 제한 값 중 임의의 값은 시간 의존적 값이다.
- [0198] 항목 4.
- [0199] 위의 항목들 중 임의의 항목에 따른 방법에서, 방법은 또한 다음을 포함한다:
 - [0200] - 이상 이벤트 신호에 대한 응답으로, 센서 객체 내의 센서들 중 어느 센서에 대한 센서의 측정된 출력이 이상 이벤트의 발생과 동시에 또는 거의 동시에 센서의 예상 출력으로부터 변했는지를 확인하는 것; 센서 객체 내의 각각의 센서의 시계열 잔차 신호를 분석하여 레벨 신호 값에 대한 하나 이상의 주된 주도자 또는 가장 지배적인 기여자를 결정하는 것; 센서 객체 내의 각각의 센서의 시계열 잔차 신호를 분석하여 연관 신호 값에 대한 하나 이상의 주된 주도자 또는 가장 지배적인 기여자를 결정하는 것; 및 센서 객체 내에서의 센서 잔차 신호들의 각각의 쌍 조합의 시계열 잔차 신호들의 공분산을 분석하여 연관 신호 값에 대한 하나 이상의 주된 주도자 또는 가장 지배적인 기여자를 결정하는 것 중 임의의 하나 이상을 수행함으로써, 이상의 적어도 하나의 근본 원인을 결정하는 단계.
- [0201] 항목 5.
- [0202] 위의 항목들 중 임의의 항목에 따른 방법에서, 방법은 또한 다음을 포함한다:
 - [0203] - 이상 이벤트 신호에 대한 응답으로, 센서 객체와 관련된 적어도 하나의 장비의 건전성의 상태를 결정하는 단계.

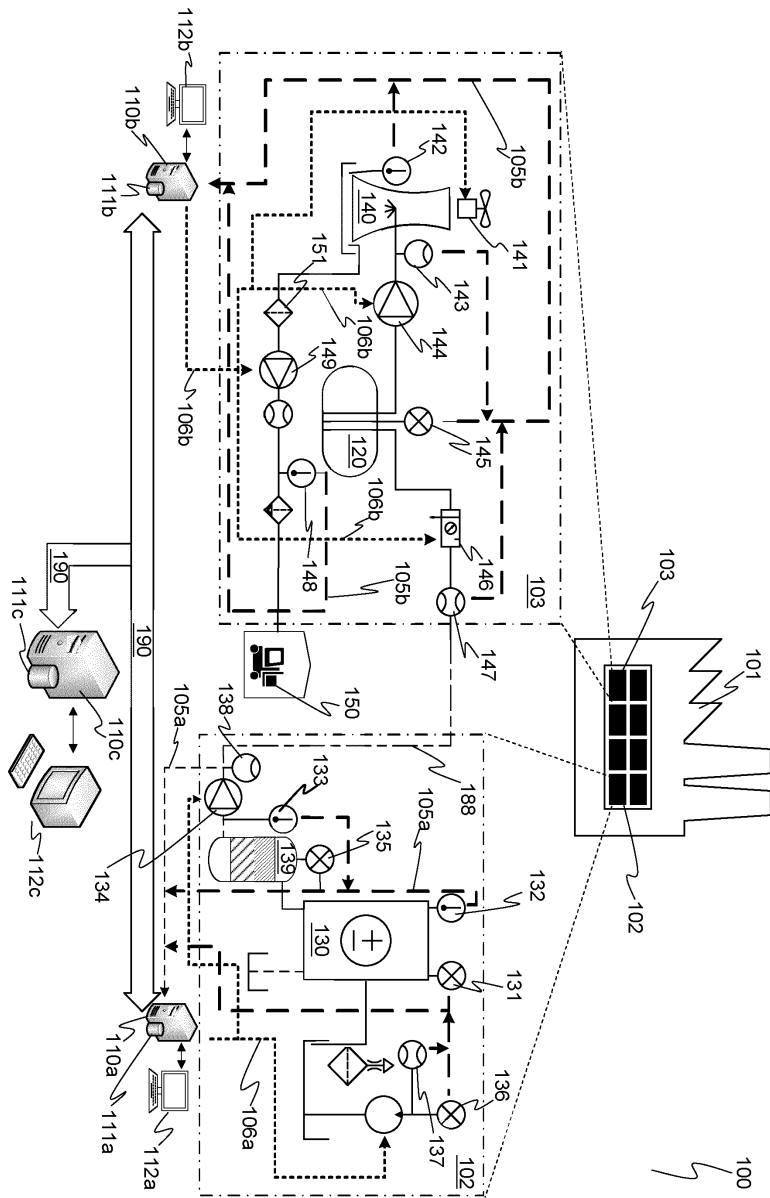
- [0204] 항목 6.
- [0205] 위의 항목들 중 임의의 항목에 따른 방법에서, 예상 값 또는 예상 제한 값 중 임의의 값은, 센서 객체의 이력 잔차 데이터를 사용하여 훈련된 예측 모델인 센서 객체 모델에 의해 제공된다.
- [0206] 항목 7.
- [0207] 항목 6에 따른 방법에서, 하나 이상의 공변량 신호는 센서 객체 모델에 대한 입력으로서 제공되고, 각각의 공변량 신호는 잔차 신호들 중 적어도 하나가 의존하는 파라미터를 표현하는 신호이다.
- [0208] 항목 8.
- [0209] 위의 항목들 중 임의의 항목에 따른 방법에서, 적어도 하나의 센서 예상 출력은, 적어도 부분적으로는 개개의 센서의 이력 시계열 출력 데이터를 사용하여 훈련된 예측 모델인 예상 상태 모델에 의해 제공된다.
- [0210] 항목 9.
- [0211] 항목 8에 따른 방법에서, 하나 이상의 공변량 신호는 예상 상태 모델에 대한 입력으로서 제공되고, 각각의 공변량 신호는 센서의 출력이 의존하는 파라미터를 표현하는 신호이다.
- [0212] 항목 10.
- [0213] 위의 항목들 중 임의의 항목에 따른 방법에서, 센서 객체는, 예컨대, 적어도 하나의 데이터-중심 알고리즘, 이를테면 클러스터링 알고리즘, 예컨대, 자기-조직화 맵 알고리즘을 사용하여 센서들 중 적어도 일부를 적어도 부분적으로 자동으로 그룹화함으로써 제공되며, 추가로, 예컨대, 센서 객체는, 적어도 하나의 자기-조직화 맵을 사용하여 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛에 의해 적어도 부분적으로 자동으로 생성된다.
- [0214] 항목 11.
- [0215] 항목 8 내지 항목 10 중 임의의 항목에 따른 방법에서, 예상 상태 모델은, 복수의 상이한 예측 모델 유형들을 분석하고, 이력 시계열 데이터의 특정 훈련 윈도우로 훈련될 때의 그 모델의 출력과 이력 시계열 데이터의 특정 시간 윈도우 내에서의 실제 이력 센서 출력 사이의 가장 낮은 오차를 제공하는 모델 유형을 예상 상태 모델로서 선택함으로써, 처리 유닛에 의해 자동으로 선택된다.
- [0216] 항목 12.
- [0217] 위의 항목들 중 임의의 항목에 따른 방법에서, 레벨 신호 값은, 시계열 잔차 데이터가 그의 정상 또는 예상 또는 평균 상태에서 벗어나는 시간 및 양을 표시하는 거리 추정자를 사용하여 생성된다.
- [0218] 항목 13.
- [0219] 위의 항목들 중 임의의 항목에 따른 방법에서, 연관 신호 값은, 잔차 데이터에서의 다변량 의존성들의 통계적 척도를 사용하여, 또는 주어진 시간에 시계열 잔차 데이터의 분산을 측정하기 위해 생성된다.
- [0220] 항목 14.
- [0221] 위의 항목들 중 임의의 항목에 따른 방법에서, 방법은 또한 다음을 포함한다:
- [0222] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 센서의 출력 신호에서의 드리프트를 검출하는 단계 - 센서는 센서들 중 적어도 일부 중에 있고, 드리프트는 센서의 이력 시계열 데이터로부터 컴퓨팅되고, 센서의 이력 데이터는 적어도 1주일 길이의 시간 기간으로부터 비롯되고, 드리프트는 센서의 이력 데이터의 강도, 평활도, 및 현재성을 컴퓨팅함으로써 검출됨 -.
- [0223] 항목 15.
- [0224] 복수의 센서들 및 하나 이상의 기능적으로 연결된 처리 유닛을 포함하는 플랜트를 모니터링하기 위한 방법으로서, 방법은 다음을 포함한다:
- [0225] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛에서, 센서 객체의 시계열 잔차 데이터를 제공하는 단계 - 센서 객체는 복수의 센서들로부터의 센서들 중 적어도 일부의 그룹이고, 잔차 데이터는, 센서 객체의 센서들 각각에 대한, 센서의 측정된 출력과 센서의 예상 출력 사이의 차이인 잔차 신호를 포함함 -,
- [0226] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 레벨 신호를 모니터링하는 단계 - 레벨 신호는, 시계열

잔차 데이터의 집합적 시간 기반 변동을 표시함 - ,

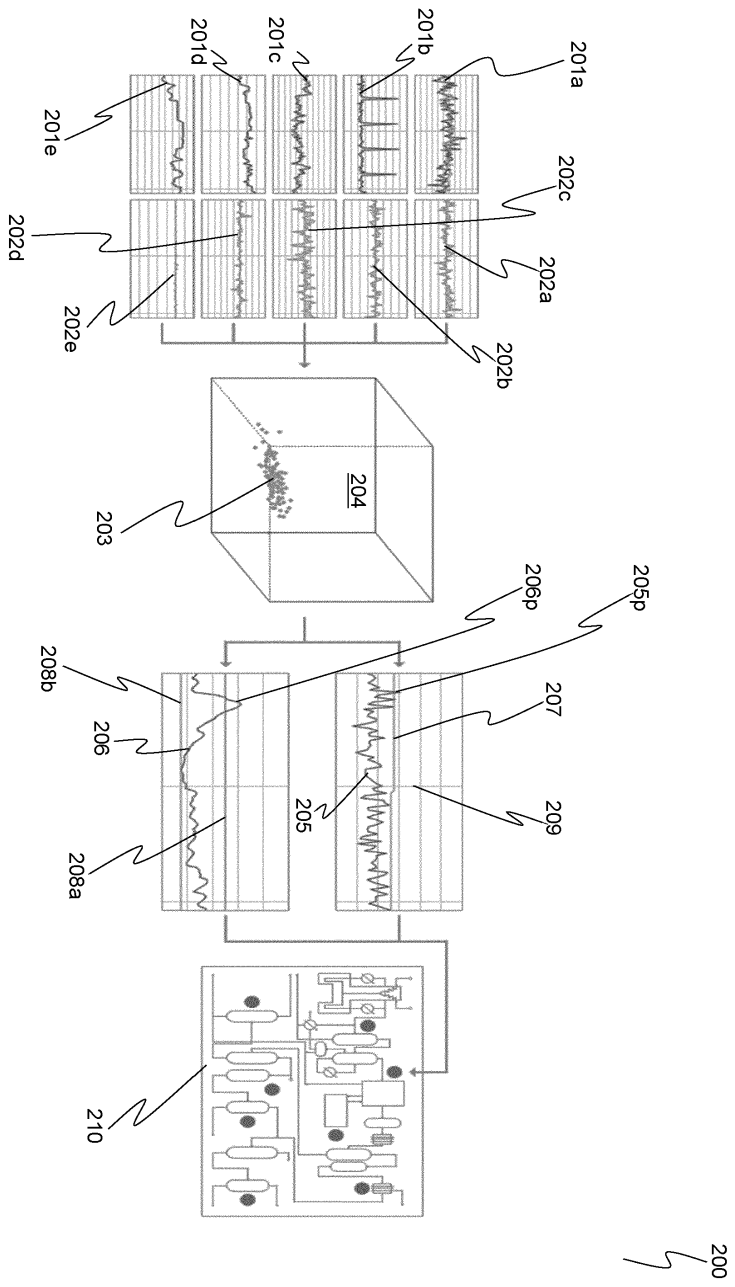
- [0227] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 레벨 이벤트 신호를 생성하는 단계 - 레벨 이벤트 신호는, 주어진 시간에서 레벨 신호의 값이 그 시간 또는 그 시간 근처에서의 레벨 신호의 예상 값으로부터 변할 때 생성되고, 레벨 이벤트 신호는, 플랜트 내의 장비 중 적어도 하나에서의 이상을 표시함 - .
- [0228] 항목 16.
- [0229] 복수의 센서들 및 하나 이상의 기능적으로 연결된 처리 유닛을 포함하는 플랜트를 모니터링하기 위한 방법으로서, 방법은 다음을 포함한다:
- [0230] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛에서, 센서 객체의 시계열 잔차 데이터를 제공하는 단계 - 센서 객체는 복수의 센서들로부터의 센서들 중 적어도 일부의 그룹이고, 잔차 데이터는, 센서 객체의 센서들 각각에 대한, 센서의 측정된 출력과 센서의 예상 출력 사이의 차이인 잔차 신호를 포함함 - ,
- [0231] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 연관 신호를 모니터링하는 단계 - 연관 신호는, 시계열 잔차 데이터의 변동 및/또는 연관 구조를 표시함 - ,
- [0232] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 연관 이벤트 신호를 생성하는 단계 - 연관 이벤트 신호는, 주어진 시간에서 레벨 신호의 값이 그 시간 또는 그 시간 근처에서의 연관 신호의 예상 값으로부터 변할 때 생성되고, 연관 이벤트 신호는, 플랜트 내의 장비 중 적어도 하나에서의 이상을 표시함 - .
- [0233] 항목 17.
- [0234] 복수의 센서들 및 하나 이상의 기능적으로 연결된 처리 유닛을 포함하는 플랜트를 모니터링하기 위한 방법으로서, 방법은 다음을 포함한다:
- [0235] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛에서, 센서 객체의 시계열 잔차 데이터를 제공하는 단계 - 센서 객체는 복수의 센서들로부터의 센서들 중 적어도 일부의 그룹이고, 잔차 데이터는, 센서 객체의 센서들 각각에 대한, 센서의 측정된 출력과 센서의 예상 출력 사이의 차이인 잔차 신호를 포함하고, 센서 객체는, 센서들 중 적어도 일부를 적어도 부분적으로 자동으로 그룹화함으로써 제공됨 - ,
- [0236] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 레벨 신호를 모니터링하는 단계 - 레벨 신호는, 시계열 잔차 데이터의 집합적 시간 기반 변동을 표시함 - ,
- [0237] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 연관 신호를 모니터링하는 단계 - 연관 신호는, 시계열 잔차 데이터의 변동 및/또는 연관 구조를 표시함 - ,
- [0238] - 하나 이상의 처리 유닛 중 임의의 처리 유닛을 통해, 주어진 시간에서 레벨 신호의 값 및/또는 연관 신호의 값이 그 시간 또는 그 시간 근처에서의 개개의 신호의 예상 값으로부터 변할 때 이상 이벤트 신호를 생성하는 단계.
- [0239] 항목 18.
- [0240] 복수의 센서들을 포함하는 플랜트를 위한 모니터링 및/또는 제어 시스템으로서, 시스템은, 항목 1 내지 항목 17 중 임의의 항목의 방법 단계들을 수행하도록 구성되는 하나 이상의 처리 유닛을 포함한다.
- [0241] 항목 19.
- [0242] 명령어들을 포함하는 컴퓨터 프로그램으로서, 명령어들은, 복수의 센서들에 기능적으로 연결된 플랜트 모니터링 및/또는 제어 시스템의 처리 유닛에 의해 실행될 때, 시스템으로 하여금, 항목 1 내지 항목 17 중 임의의 항목의 방법 단계들을 수행하게 한다.

도면

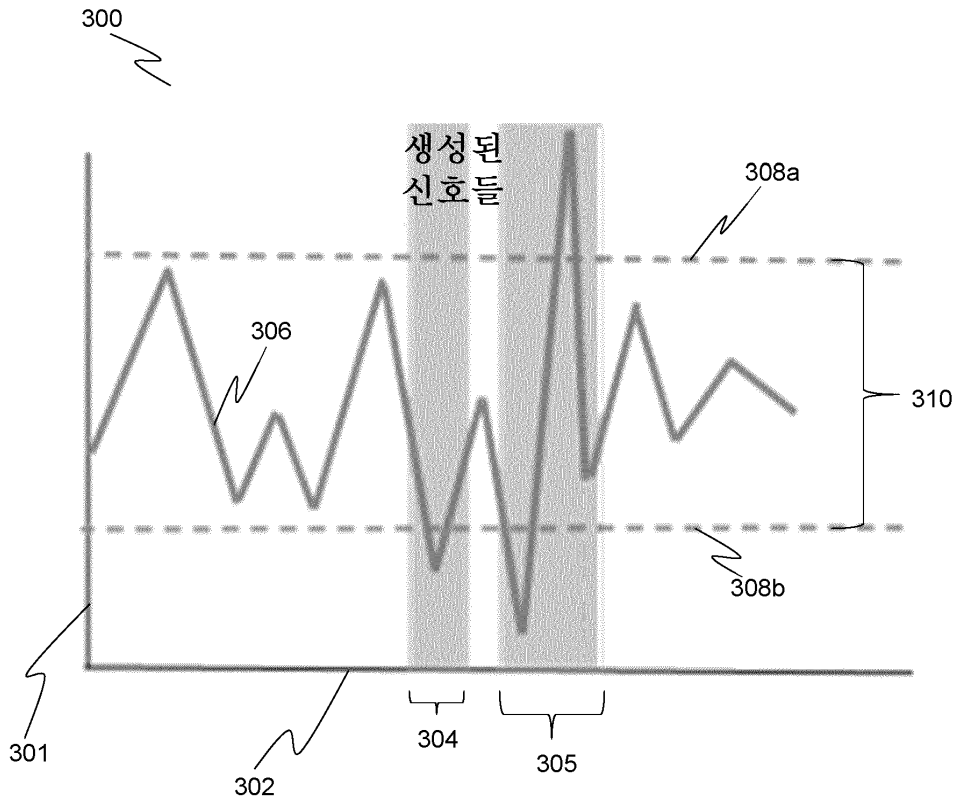
도면1



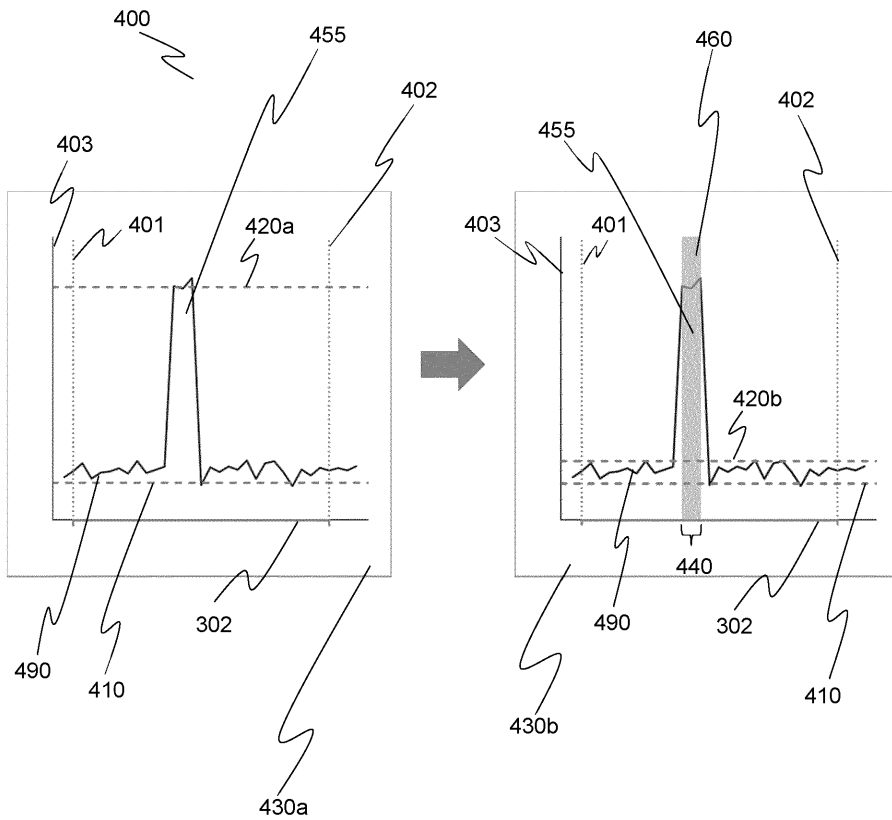
도면2



도면3



도면4



도면5

