



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0009484
(43) 공개일자 2023년01월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F02D 41/22 (2006.01) F02D 41/14 (2006.01)
(52) CPC특허분류
F02D 41/221 (2013.01)
G05B 23/0254 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-7043363
(22) 출원일자(국제) 2021년07월06일
심사청구일자 2022년12월09일
(85) 번역문제출일자 2022년12월09일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2021/025526
(87) 국제공개번호 WO 2022/009904
국제공개일자 2022년01월13일
(30) 우선권주장
JP-P-2020-116438 2020년07월06일 일본(JP)

(71) 출원인
고쿠리츠겐큐카이하츠호진 가이쥬 · 고완 · 고쿠기
쥬츠켄쥬쥬
일본국 도쿄도 미타카시 신카와 6초메 38반 1고
가부시카가이사 미쯔이 이앤에스 머시너리
일본 1048439 도쿄도 주오쿠 쓰키지 5초메 6반 4
고
(72) 발명자
본다렌코 올렉씨
일본국 도쿄도 미타카시 신카와 6초메 38반 1고
고쿠리츠겐큐카이하츠호진 가이쥬 · 고완 · 고쿠기
쥬츠켄쥬쥬 내
후쿠다 테츠고
일본국 도쿄도 미타카시 신카와 6초메 38반 1고
고쿠리츠겐큐카이하츠호진 가이쥬 · 고완 · 고쿠기
쥬츠켄쥬쥬 내
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
장일우

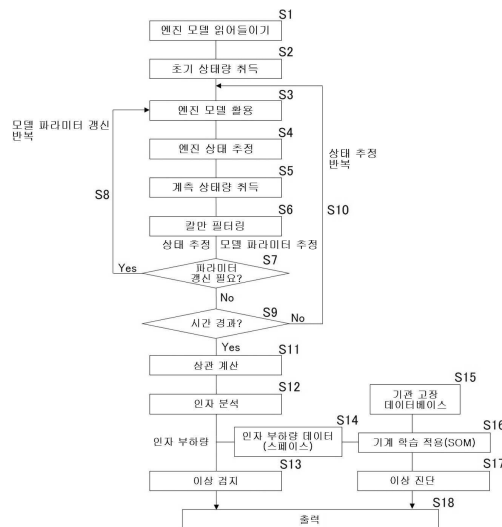
전체 청구항 수 : 총 17 항

(54) 발명의 명칭 엔진의 이상 진단 방법, 엔진의 이상 진단 프로그램 및 엔진의 이상 진단 시스템

(57) 요약

엔진 이상의 조기 감지 및 원인 진단을 행하는 엔진의 이상 진단 방법, 엔진의 이상 진단 프로그램 및 엔진의 이상 진단 시스템은, 엔진 모델(10)의 초기 상태량을 취득하는 스텝 S2와, 초기 상태량을 적용하고 엔진 모델(10)을 활용하는 스텝 S3과, 엔진 모델(10)에서 추정 상태량을 얻는 스텝 S4와, 엔진(1)의 계측 상태량을 취득하는 스텝 S5와, 계측 상태량과 추정 상태량과의 잔차를 비선형 칼만 필터로 필터링하는 스텝 S6과, 칼만 계인을 엔진 모델(10)에 적용하여 스텝 S4 내지 S6을 반복하는 스텝 S10과, 계측 상태량 또는 잔차의 상관을 계산하는 스텝 S11과, 계측 상태량 또는 잔차의 상관에 대해서 인자 분석하고 인자 부하량을 구하는 스텝 S12와, 인자 부하량으로부터 인자 스코어를 계산하고 이상을 감지하는 스텝 S13과, 인자 부하량을 기계 학습에 적용하는 스텝 S16과, 기계 학습에 기초하여 이상을 진단하는 스텝 S17과, 진단 결과를 출력하는 스텝 S18을 실행한다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

F02D 2041/1417 (2013.01)

F02D 2041/1433 (2013.01)

(72) 발명자

미야카와 슈지로

일본국 오카야마켄 타마노시 타마 3쵸메 1반 1고
가부시키키가이샤 미쯔이 이앤에스 머시너리 내

미야치 켄

일본국 오카야마켄 타마노시 타마 3쵸메 1반 1고
가부시키키가이샤 미쯔이 이앤에스 머시너리 내

명세서

청구범위

청구항 1

엔진의 이상을, 수학적인 엔진 모델을 이용하여 이상 진단하는 방법으로서,
 상기 엔진 모델의 초기 상태량을 취득하는 초기 상태량 취득 스텝과,
 상기 엔진 모델에 상기 초기 상태량을 적용하고 상기 엔진 모델을 활용하는 엔진 모델 활용 스텝과,
 상기 엔진 모델에서 상기 초기 상태량에 기초하여 상기 엔진의 상태를 계산하고 추정 상태량을 얻는 엔진 상태 추정 스텝과,
 상기 엔진의 계측 상태량을 취득하는 계측 상태량 취득 스텝과,
 취득한 상기 계측 상태량과 계산한 상기 추정 상태량과의 잔차를 비선형 칼만 필터로 필터링하는 칼만 필터링 스텝과,
 상기 비선형 칼만 필터로 필터링해서 얻어진 칼만 계인을 상기 엔진 모델에 적용하고, 상기 엔진 상태 추정 스텝과 상기 계측 상태량 취득 스텝과 상기 칼만 필터링 스텝을 반복하는 반복 스텝과,
 상기 비선형 칼만 필터로 필터링했을 때의 상기 계측 상태량, 또는 상기 잔차의 상관을 계산하는 상관 계산 스텝과,
 상기 계측 상태량, 또는 상기 잔차의 상기 상관에 대해서 인자 분석하고 인자 부하량을 구하는 인자 분석 스텝과,
 상기 인자 부하량으로부터 인자 스코어를 계산하고 상기 이상을 검지하는 이상 검지 스텝과,
 상기 인자 부하량을 기계 학습에 적용하는 기계 학습 적용 스텝과,
 상기 기계 학습에 기초하여 상기 이상을 진단하는 이상 진단 스텝과,
 상기 엔진의 상기 이상의 진단 결과를 포함하는 이상 정보를 출력하는 출력 스텝
 을 실행하는 것을 특징으로 하는 엔진의 이상 진단 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,
 상기 칼만 필터링 스텝에서 얻어진 결과, 또는 취득한 상기 계측 상태량을 처리한 결과를 상기 엔진 모델 활용 스텝에 적용해서, 상기 엔진 모델을 갱신하는 모델 갱신 스텝을 더 실행하는 것을 특징으로 하는 엔진의 이상 진단 방법.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,
 상기 상관 계산 스텝에 있어서의 상기 계측 상태량, 또는 상기 잔차의 상기 상관의 계산은, 상관 행렬에 기초하여 행하는 것을 특징으로 하는 엔진의 이상 진단 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,
 상기 인자 분석 스텝에 있어서, 상기 상관 행렬로서의 공분산 행렬에 기초하여 특이값 분해(SVD)를 해서 상기 인자 부하량을 도출하는 것을 특징으로 하는 엔진의 이상 진단 방법.

청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 기계 학습은, 자기 조직화 맵(SOM)을 이용하는 것을 특징으로 하는 엔진의 이상 진단 방법.

청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 초기 상태량 취득 스텝에서 취득하는 상기 초기 상태량은, 상기 엔진의 부하(Q_b)와 연료 펌프 렉 위치(h_p)를 포함하는 연료 공급량인 것을 특징으로 하는 엔진의 이상 진단 방법.

청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 계측 상태량 취득 스텝에서 취득하는 상기 계측 상태량은, 상기 엔진의 회전수(n_e)인 것을 특징으로 하는 엔진의 이상 진단 방법.

청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 엔진 상태 추정 스텝의 상기 추정 상태량으로서, 과급기(過給機) 회전수(n_{tc}), 소기압(掃氣壓)(P_s), 소기 온도(T_s) 및 배기 가스 온도(T_e)를 얻는 것을 특징으로 하는 엔진의 이상 진단 방법.

청구항 9

엔진의 이상을, 수학적 엔진 모델을 이용하여 이상 진단하는 프로그램으로서,

컴퓨터에, 제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 기재된 엔진의 이상 진단 방법에 있어서의 상기 초기 상태량 취득 스텝, 상기 엔진 모델 활용 스텝, 상기 엔진 상태 추정 스텝, 상기 계측 상태량 취득 스텝, 상기 칼만 필터링 스텝, 상기 반복 스텝, 상기 상관 계산 스텝, 상기 인자 분석 스텝, 상기 이상 검지 스텝, 상기 기계 학습 적용 스텝, 상기 이상 진단 스텝 및 상기 출력 스텝을 실행시키는 것을 특징으로 하는 엔진의 이상 진단 프로그램.

청구항 10

엔진과,

엔진 모델의 초기 상태량을 입력하는 조건 입력 수단과,

상기 엔진의 상태를 계측하고 계측 상태량을 얻는 상태량 계측 수단과,

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 기재된 엔진의 이상 진단 방법, 또는 제9항에 기재된 엔진의 이상 진단 프로그램을 실행하는 컴퓨터와,

상기 컴퓨터로부터 출력되는 상기 엔진의 이상 진단 결과를 포함하는 이상 정보를 제공하는 정보 제공 수단을 구비한 것을 특징으로 하는 엔진의 이상 진단 시스템.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 컴퓨터에서, 상기 엔진 모델의 갱신을 행하는 것을 특징으로 하는 엔진의 이상 진단 시스템.

청구항 12

제10항 또는 제11항에 있어서,

상기 상태량 계측 수단에서, 상기 계측 상태량으로서 상기 엔진의 회전수(n_e)를 얻는 것을 특징으로 하는 엔진의 이상 진단 시스템.

청구항 13

제10항 내지 제12항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 정보 제공 수단에서, 상기 이상의 진단 결과로서, 상기 엔진의 과급기 회전수(n_{tc}), 소기압(P_s), 소기 온도(T_s) 및 배기 가스 온도(T_e)의 적어도 하나의 결과를 제공하는 것을 특징으로 하는 엔진의 이상 진단 시스템.

청구항 14

제10항 내지 제13항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 이상 정보의 상기 출력에 기초하여, 이상 시에 상기 엔진을 제어하는 이상시 제어 수단을 구비한 것을 특징으로 하는 엔진의 이상 진단 시스템.

청구항 15

제10항 내지 제14항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 정보 제공 수단으로서, 휴먼 인터페이스 수단을 이용하여 상기 이상 정보를 제공하는 것을 특징으로 하는 엔진의 이상 진단 시스템.

청구항 16

제10항 내지 제15항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 정보 제공 수단에서 제공되는 상기 이상 정보를, 다른 개소로 송신하는 송신 수단을 구비한 것을 특징으로 하는 엔진의 이상 진단 시스템.

청구항 17

제10항 내지 제16항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 상태량 계측 수단과 상기 컴퓨터와 상기 정보 제공 수단을 온라인으로 접속하는 접속 수단을 구비한 것을 특징으로 하는 엔진의 이상 진단 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 엔진의 이상을 수학적 엔진 모델을 이용하여 이상 진단하는 엔진의 이상 진단 방법, 엔진의 이상 진단 프로그램 및 엔진의 이상 진단 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 선박 등에 탑재되어 있는 엔진의 이상을 조기에 검지하는 것은 안전면이나 효율면 등의 관점에서 중요하다.

[0003] 여기서, 특허문헌 1에는, 엔진의 어떤 작동점에서 최적으로 설계된 칼만 필터(Kalman filter) 게인과, 실기(實機) 엔진을 충실히 모델화한 비선형 다이나믹 시뮬레이션 모델로 이루어지는 일정 게인 확장 칼만 필터(CGKF)를 이용해서, 관측 변수와 관측 변수 추정값 사이에 차가 발생하는 경우는 모델 상태 변수의 일부분을 이루는 튜닝 파라미터를 그 차가 최소로 되도록 조정하는 것에 의해, 그 비선형 다이나믹 시뮬레이션 모델을 항상 실기에 충실한 모델로 하는 가스 터빈 엔진의 성능 추정 시스템이 개시되어 있다. 또, 단락 0010에는, 엔진 사용에 의한 경년 변화나 손상에 의한 성능 열화(劣化)를, 엔진의 비선형 다이나믹 시뮬레이션 모델과 추정 필터에 의해 항상 추정, 검출, 감시하는 엔진 성능 추정 시스템 및 방법인 것이 기재되어 있다.

[0004] 또, 특허문헌 2에는, 항공기의 비행 중에 항공기의 비행 파라미터를 실시간으로 결정하기 위한 시스템으로서, 항공기의 추정되어야 할 적어도 2개의 사전 선택된 비행 파라미터 간의 상호 의존 관계를 정하는 비행 역학 방정식에 기초하여 구성되어, 항공기의 비행 중에, 선택된 비행 파라미터의 합동 추정값을 제공하도록 형성된 확장 칼만 필터를 포함하는 시스템이 개시되어 있다.

[0005] 또, 특허문헌 3에는, 프로세스를 제어하는 데 이용되는 제어 신호를 컨트롤러가 생성할 수 있도록 하기 위해서 컨트롤러의 각 실행 사이클 중에 컨트롤러에 새로운 프로세스 변수 추정을 제공하면서, 늦은 또는 간헐적인 프로세스 피드백 신호로부터 프로세스 변수값의 추정을 일으키도록 구성되는 칼만 필터가 개시되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0006] (특허문헌 0001) 일본특허공개 특개2009-68359호 공보
- (특허문헌 0002) 일본특허공개 특개2013-49408호 공보
- (특허문헌 0003) 일본특허공개 특개2018-88289호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0007] 특허문헌 1은, 단락 0005에, 「계측 가능 항목과 계측 불능 항목 사이의 상관 관계를 변화시키는 경년 열화나 손상 등의 영향이 충분히 반영된 고정밀도(高精度)의 비선형 다이나믹 시뮬레이션 모델로 하는 것이 가능해진다.」고 기재되어 있는 바와 같이, 비선형 다이나믹 시뮬레이션 모델을 축차적으로 튜닝하고, 엔진의 계측 불능 항목을 계측 가능 항목으로부터 추정하고, 그 추정 결과를 이용하여 가스 터빈 엔진을 제어하는 것으로, 엔진 이상의 조기 검지와 그 원인의 진단을 행하는 것은 아니다.
- [0008] 특허문헌 2는, 비행 역학 방정식에 의해서 상호 관련지어진 적어도 2개의 비행 파라미터를 확장 칼만 필터에 의해서 동시에 추정해서 항공기의 비행 제어에 이용하는 것으로, 엔진 이상의 조기 검지와 그 원인의 진단을 행하는 것은 아니다.
- [0009] 특허문헌 3은, 화학 프로세스나 석유 프로세스 등의 프로세스 제어 시스템에 있어서의 칼만 필터의 개선에 관한 것으로, 엔진 이상의 조기 검지와 그 원인의 진단을 행하는 것은 아니다.
- [0010] 그래서 본 발명은, 엔진 이상의 조기 검지와 그 원인의 진단을 행할 수 있는 엔진의 이상 진단 방법, 엔진의 이상 진단 프로그램 및 엔진의 이상 진단 시스템을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0011] 청구항 1 기재에 대응한 엔진의 이상 진단 방법에 있어서는, 엔진의 이상을, 수학적 엔진 모델을 이용하여 이상 진단하는 프로그램으로서, 엔진 모델의 초기 상태량을 취득하는 초기 상태량 취득 스텝과, 엔진 모델에 초기 상태량을 적용하고 엔진 모델을 활용하는 엔진 모델 활용 스텝과, 엔진 모델에서 초기 상태량에 기초하여 엔진의 상태를 계산하고 추정 상태량을 얻는 엔진 상태 추정 스텝과, 엔진의 계측 상태량을 취득하는 계측 상태량 취득 스텝과, 취득한 계측 상태량과 계산한 추정 상태량과의 잔차(殘差)를 비선형 칼만 필터로 필터링하는 칼만 필터링 스텝과, 비선형 칼만 필터로 필터링해서 얻어진 칼만 계인을 엔진 모델에 적용하고, 엔진 상태 추정 스텝과 계측 상태량 취득 스텝과 칼만 필터링 스텝을 반복하는 반복 스텝과, 비선형 칼만 필터로 필터링했을 때의 계측 상태량 또는 잔차의 상관관계를 계산하는 상관 계산 스텝과, 계측 상태량 또는 잔차의 상관에 대해서 인자 분석하고 인자 부하량을 구하는 인자 분석 스텝과, 인자 부하량으로부터 인자 스코어를 계산하고 이상을 검지하는 이상 검지 스텝과, 인자 부하량을 기계 학습에 적용하는 기계 학습 적용 스텝과, 기계 학습에 기초하여 이상을 진단하는 이상 진단 스텝과, 엔진의 이상 진단 결과를 포함하는 이상 정보를 출력하는 출력 스텝을 실행하는 것을 특징으로 한다.
- [0012] 청구항 1에 기재된 본 발명에 의하면, 계측 상태량, 또는 계측 상태량과 계산한 추정 상태량과의 잔차를 이용해서 인자 분석을 실시하는 것에 의해, 계산한 인자 스코어에 기초하여 엔진의 이상을 조기에 검지할 수가 있다. 또, 인자 부하량을 기계 학습에 적용하여 엔진의 이상 원인을 진단할 수가 있다.
- [0013] 청구항 2 기재의 본 발명은, 칼만 필터링 스텝에서 얻어진 결과, 또는 취득한 계측 상태량을 처리한 결과를 엔진 모델 활용 스텝에 적용해서, 엔진 모델을 갱신하는 모델 갱신 스텝을 더(추가로) 실행하는 것을 특징으로 한다.
- [0014] 청구항 2에 기재된 본 발명에 의하면, 엔진 모델을 갱신해서 추정 상태량의 계산 정밀도를 항상 높은 상태로 유지할 수가 있다.
- [0015] 청구항 3 기재의 본 발명은, 상관 계산 스텝에 있어서의 계측 상태량 또는 잔차의 상관의 계산은, 상관 행렬에

기초하여 행하는 것을 특징으로 한다.

- [0016] 청구항 3에 기재된 본 발명에 의하면, 간단한 계산에 의해 계측 상태량 또는 잔차의 상관의 계산 정밀도를 향상시킬 수가 있다.
- [0017] 청구항 4 기재의 본 발명은, 인자 분석 스텝에 있어서, 상관 행렬로서의 공분산 행렬에 기초하여 특이값 분해(SVD)를 해서 인자 부하량을 도출하는 것을 특징으로 한다.
- [0018] 청구항 4에 기재된 본 발명에 의하면, 공분산 행렬의 형태에 얽매이지 않고 본질적으로 중요한 것을 추출하여, 엔진의 이상을 조기에 검지할 수가 있다.
- [0019] 청구항 5 기재의 본 발명은, 기계 학습은, 자기(自己) 조직화 맵(SOM)을 이용하는 것을 특징으로 한다.
- [0020] 청구항 5에 기재된 본 발명에 의하면, 교사 없는 기계 학습인 자기 조직화 맵(SOM)을 이용해서 엔진의 이상 원인을 분류할 수가 있다.
- [0021] 청구항 6 기재의 본 발명은, 초기 상태량 취득 스텝에서 취득하는 초기 상태량은, 엔진의 부하(Q_b)와 연료 펌프 렉 위치(h_p)를 포함하는 연료 공급량인 것을 특징으로 한다.
- [0022] 청구항 6에 기재된 본 발명에 의하면, 엔진의 상태를 추정하는 데 있어서 중요한 엔진의 부하(Q_b)와 연료 펌프 렉 위치(h_p)를 포함하는 연료 공급량에 기초하여, 추정 상태량을 얻을 수가 있다.
- [0023] 청구항 7 기재의 본 발명은, 계측 상태량 취득 스텝에서 취득하는 계측 상태량은, 엔진의 회전수(n_e)인 것을 특징으로 한다.
- [0024] 청구항 7에 기재된 본 발명에 의하면, 엔진으로서 계측할 기회가 많은 엔진의 회전수(n_e)를, 엔진의 이상 진단에 이용할 수 있고, 계측 정밀도도 높게 할 수가 있다.
- [0025] 청구항 8 기재의 본 발명은, 엔진 상태 추정 스텝의 추정 상태량으로서, 과급기(過給機) 회전수(n_{tc}), 소기압(掃氣壓)(P_s), 소기 온도(T_s) 및 배기 가스 온도(T_e)를 얻는 것을 특징으로 한다.
- [0026] 청구항 8에 기재된 본 발명에 의하면, 엔진의 상태를 추정하는 데 있어서 유용한 과급기 회전수(n_{tc}), 소기압(P_s), 소기 온도(T_s), 또는 배기 가스 온도(T_e)에 대한 진단 결과를 얻을 수가 있다.
- [0027] 청구항 9 기재에 대응한 엔진의 이상 진단 프로그램에 있어서는, 엔진의 이상을, 수학적 엔진 모델을 이용하여 이상 진단하는 프로그램으로서, 컴퓨터에, 엔진의 이상 진단 방법에 있어서의 초기 상태량 취득 스텝, 엔진 모델 활용 스텝, 엔진 상태 추정 스텝, 계측 상태량 취득 스텝, 칼만 필터링 스텝, 반복 스텝, 상관 계산 스텝, 인자 분석 스텝, 이상 검지 스텝, 기계 학습 적용 스텝, 이상 진단 스텝 및 출력 스텝을 실행시키는 것을 특징으로 한다.
- [0028] 청구항 9에 기재된 발명에 의하면, 계측 상태량, 또는 계측 상태량과 계산한 추정 상태량과의 잔차를 이용해서 인자 분석을 실시하는 것에 의해, 계산한 인자 스코어에 기초하여 엔진의 이상을 조기에 검지할 수가 있다. 또, 인자 부하량을 기계 학습에 적용하여 엔진의 이상 원인을 진단할 수가 있다.
- [0029] 청구항 10 기재에 대응한 엔진의 이상 진단 시스템에 있어서는, 엔진과, 엔진 모델의 초기 상태량을 입력하는 조건 입력 수단과, 엔진의 상태를 계측하여 계측 상태량을 얻는 상태량 계측 수단과, 엔진의 이상 진단 방법, 또는 엔진의 이상 진단 프로그램을 실행하는 컴퓨터와, 컴퓨터로부터 출력되는 엔진의 이상 진단 결과를 포함하는 이상 정보를 제공하는 정보 제공 수단을 구비한 것을 특징으로 한다.
- [0030] 청구항 10에 기재된 본 발명에 의하면, 컴퓨터를 이용해서, 엔진 이상의 조기 검지와 그 원인의 진단을 행한 결과를 포함하는 이상 정보를 제공할 수가 있다.
- [0031] 청구항 11 기재의 본 발명은, 컴퓨터에서, 엔진 모델의 갱신을 행하는 것을 특징으로 한다.
- [0032] 청구항 11에 기재된 본 발명에 의하면, 컴퓨터에서, 엔진 모델을 갱신하는 것에 의해 추정 상태량의 계산 정밀도의 향상을 용이하게 할 수 있다.
- [0033] 청구항 12 기재의 본 발명은, 상태량 계측 수단에서, 계측 상태량으로서 엔진의 회전수(n_e)를 얻는 것을 특징으로

로 한다.

- [0034] 청구항 12에 기재된 본 발명에 의하면, 엔진으로서 예측할 기회가 많은 엔진의 회전수(n_e)를, 엔진의 이상 진단에 이용할 수 있고, 예측 정밀도도 높게 할 수가 있다.
- [0035] 청구항 13 기재의 본 발명은, 정보 제공 수단에서, 이상의 진단 결과로서, 엔진의 과급기 회전수(n_{tc}), 소기압(P_s), 소기 온도(T_s) 및 배기 가스 온도(T_e)의 적어도 하나의 결과를 제공하는 것을 특징으로 한다.
- [0036] 청구항 13에 기재된 본 발명에 의하면, 엔진의 상태를 추정하는 데 있어서 유용한 과급기 회전수(n_{tc}), 소기압(P_s), 소기 온도(T_s), 또는 배기 가스 온도(T_e)에 대한 진단 결과를 얻을 수가 있다.
- [0037] 청구항 14 기재의 본 발명은, 이상 정보의 출력에 기초하여, 이상 시에 엔진을 제어하는 이상시 제어 수단을 구비한 것을 특징으로 한다.
- [0038] 청구항 14에 기재된 본 발명에 의하면, 이상 시에 엔진을 제어하는 것에 의해, 엔진의 이상이 악화되거나 고장에 이르는 것을 방지할 수 있다.
- [0039] 청구항 15 기재의 본 발명은, 정보 제공 수단으로서, 휴먼 인터페이스 수단을 이용하여 이상 정보를 제공하는 것을 특징으로 한다.
- [0040] 청구항 15에 기재된 본 발명에 의하면, 휴먼 인터페이스 수단으로부터 엔진의 이상 정보가 제공됨으로써, 승조원(乘組員) 등은 이상 시에 신속하면서도 적절하게 대응하는 것이 가능해진다.
- [0041] 청구항 16 기재의 본 발명은, 정보 제공 수단에서 제공되는 이상 정보를, 다른 개소(箇所)로 송신하는 송신 수단을 구비한 것을 특징으로 한다.
- [0042] 청구항 16에 기재된 본 발명에 의하면, 엔진으로부터 떨어진(이격된) 장소에 있어서도 실시간으로 엔진의 이상을 포함하는 진단 결과를 알 수가 있다.
- [0043] 청구항 17 기재의 본 발명은, 상태량 예측 수단과 컴퓨터와 정보 제공 수단을 온라인으로 접속하는 접속 수단을 구비한 것을 특징으로 한다.
- [0044] 청구항 17에 기재된 본 발명에 의하면, 엔진의 이상을 포함하는 진단 결과를, 온라인으로 실시간으로 전송해서 제공할 수가 있다.

발명의 효과

- [0045] 본 발명의 엔진의 이상 진단 프로그램에 의하면, 예측 상태량, 또는 예측 상태량과 계산한 추정 상태량과의 차를 이용해서 인자 분석을 실시하는 것에 의해, 계산한 인자 스코어에 기초하여 엔진의 이상을 조기에 검지할 수가 있다. 또, 인자 부하량을 기계 학습에 적용하여 엔진의 이상 원인을 진단할 수가 있다.
- [0046] 또, 칼만 필터링 스텝에서 얻어진 결과, 또는 취득한 예측 상태량을 처리한 결과를 엔진 모델 활용 스텝에 적용해서, 엔진 모델을 갱신하는 모델 갱신 스텝을 더(추가로) 실행하는 경우는, 엔진 모델을 갱신해서 추정 상태량의 계산 정밀도를 항상 높은 상태로 유지할 수가 있다.
- [0047] 또, 상관 계산 스텝에 있어서의 잔차의 상관의 계산은, 상관 행렬에 기초하여 행하는 경우는, 간단한 계산에 의해 예측 상태량 또는 잔차의 상관의 계산 정밀도를 향상시킬 수가 있다.
- [0048] 또, 인자 분석 스텝에 있어서, 상관 행렬로서의 공분산 행렬에 기초하여 특이값 분해(SVD)를 해서 인자 부하량을 도출하는 경우는, 공분산 행렬의 형태에 얽매이지 않고 본질적으로 중요한 것을 추출하여, 엔진의 이상을 조기에 검지할 수가 있다.
- [0049] 또, 기계 학습은, 자기 조직화 맵(SOM)을 이용하는 경우는, 교사 없는 기계 학습인 자기 조직화 맵(SOM)을 이용해서 엔진의 이상 원인을 분류할 수가 있다.
- [0050] 또, 초기 상태량 취득 스텝에서 취득하는 초기 상태량은, 엔진의 부하(Q_b)와 연료 펌프 력 위치(h_p)를 포함하는 연료 공급량인 경우는, 엔진의 상태를 추정하는 데 있어서 중요한 엔진의 부하(Q_b)와 연료 펌프 력 위치(h_p)를 포함하는 연료 공급량에 기초하여 추정 상태량을 얻을 수가 있다.

- [0051] 또, 계측 상태량 취득 스텝에서 취득하는 계측 상태량은, 엔진의 회전수(n_e)인 경우는, 엔진으로서 계측할 기회가 많은 엔진의 회전수(n_e)를 엔진의 이상 진단에 이용할 수 있고, 계측 정밀도도 높게 할 수가 있다.
- [0052] 또, 엔진 상태 추정 스텝의 추정 상태량으로서, 과급기 회전수(n_{tc}), 소기압(P_s), 소기 온도(T_s) 및 배기 가스 온도(T_e)를 얻는 경우는, 엔진의 상태를 추정하는 데 있어서 유용한 과급기 회전수(n_{tc}), 소기압(P_s), 소기 온도(T_s) 또는 배기 가스 온도(T_e)에 대한 진단 결과를 얻을 수가 있다.
- [0053] 또, 본 발명의 엔진의 이상 진단 프로그램에 의하면, 계측 상태량, 또는 계측 상태량과 계산한 추정 상태량과의 잔차를 이용해서 인자 분석을 실시하는 것에 의해, 계산한 인자 스코어에 기초하여 엔진의 이상을 조기에 검지할 수가 있다. 또, 인자 부하량을 기계 학습에 적용하여 엔진의 이상 원인을 진단할 수가 있다.
- [0054] 또, 본 발명의 엔진의 이상 진단 시스템에 의하면, 컴퓨터를 이용해서, 엔진 이상의 조기 검지와 그 원인의 진단을 행한 결과를 포함하는 이상 정보를 제공할 수가 있다.
- [0055] 또, 컴퓨터에서, 엔진 모델의 갱신을 행하는 경우는, 컴퓨터에서, 엔진 모델을 갱신하는 것에 의해 추정 상태량의 계산 정밀도의 향상을 용이하게 할 수가 있다.
- [0056] 또, 상태량 계측 수단에서, 계측 상태량으로서 엔진의 회전수(n_e)를 얻는 경우는, 엔진으로서 계측할 기회가 많은 엔진의 회전수(n_e)를 엔진의 이상 진단에 이용할 수 있고, 계측 정밀도도 높게 할 수가 있다.
- [0057] 또, 정보 제공 수단에서, 이상의 진단 결과로서, 엔진의 과급기 회전수(n_{tc}), 소기압(P_s), 소기 온도(T_s) 및 배기 가스 온도(T_e)의 적어도 하나의 결과를 제공하는 경우는, 엔진의 상태를 추정하는 데 있어서 유용한 과급기 회전수(n_{tc}), 소기압(P_s), 소기 온도(T_s) 또는 배기 가스 온도(T_e)에 대한 진단 결과를 얻을 수가 있다.
- [0058] 또, 이상 정보의 출력에 기초하여, 이상 시에 엔진을 제어하는 이상시 제어 수단을 구비한 경우는, 이상 시에 엔진을 제어하는 것에 의해, 엔진의 이상이 악화되거나 고장에 이르는 것을 방지할 수 있다.
- [0059] 또, 정보 제공 수단으로서, 휴먼 인터페이스 수단을 이용하여 이상 정보를 제공하는 경우는, 휴먼 인터페이스 수단으로부터 엔진의 이상 정보가 제공됨으로써, 승조원 등은 이상 시에 신속하면서도 적절하게 대응하는 것이 가능해진다.
- [0060] 또, 정보 제공 수단에서 제공되는 이상 정보를, 다른 개소로 송신하는 송신 수단을 구비한 경우는, 엔진으로부터 떨어진 장소에 있어서도 실시간으로 엔진의 이상을 포함하는 진단 결과를 알 수가 있다.
- [0061] 또, 상태량 계측 수단과 컴퓨터와 정보 제공 수단을 온라인으로 접속하는 접속 수단을 구비한 경우는, 엔진의 이상을 포함하는 진단 결과를, 온라인으로 실시간으로 전송해서 제공할 수가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0062] 도 1은, 본 발명의 실시형태에 따른 엔진의 이상 진단 시스템의 블록도.
- 도 2는, 같은(同) 엔진의 이상 진단 프로그램의 플로차트.
- 도 3은, 같은 엔진의 이상 진단의 개요도.
- 도 4는, 같은 인자 분석의 개념도.
- 도 5는, 같은 계측 데이터를 이용한 인자 분석의 예를 나타내는 도면.
- 도 6은, 같은 인자 스코어의 예를 나타내는 도면.
- 도 7은, 같은 각 계측값의 인자 부하량의 변화를 나타내는 도면.
- 도 8은, 같은 엔진의 수학 모델의 예를 나타내는 도면.
- 도 9는, 같은 엔진 모델의 파라미터를 나타내는 도면.
- 도 10은, 같은 칼만 필터의 예측(추정) 스텝과 갱신(수정) 스텝의 개념과 계산식을 나타내는 도면.
- 도 11은, 같은 칼만 필터와 인자 분석의 관계를 나타내는 도면.

도 12는, 같은 인자 스코어에 의한 이상 검지의 예를 나타내는 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0063] 이하에, 본 발명의 실시형태에 따른 엔진의 이상 진단 방법, 엔진의 이상 진단 프로그램 및 엔진의 이상 진단 시스템에 대하여 설명한다.
- [0064] 도 1은 엔진의 이상 진단 시스템의 블록도이다.
- [0065] 엔진의 이상 진단 시스템은, 선박 등에 탑재되어 있는 엔진(1)의 이상을 수학적인 엔진 모델(10)을 이용하여 진단한다.
- [0066] 엔진의 이상 진단 시스템은, 엔진 모델(10)의 초기 상태량을 입력하는 조건 입력 수단(2), 엔진(1)의 상태를 측정해서 측정 상태량을 얻는 상태량 측정 수단(3), 엔진의 이상 진단 방법 또는 프로그램을 실행하는 컴퓨터(4), 컴퓨터(4)로부터 출력되는 엔진(1)의 이상 진단 결과를 포함하는 이상 정보를 제공하는 정보 제공 수단(휴먼 인터페이스 수단: HMI)(5), 이상 정보의 출력에 기초하여 이상 시에 엔진(1)을 제어하는 이상시 제어 수단(6), 정보 제공 수단(5)에서 제공되는 이상 정보를 다른 개소로 송신하는 송신 수단(7), 및 각 기기를 온라인으로 접속하는 접속 수단(8)을 구비하고 있다. 엔진 모델(10)은, 엔진(1)에 대응해서 처음부터 컴퓨터(4)에 내장되어 있는 것이 바람직하지만, 예를 들어 선박의 메인터너스 등에 관해서 엔진(1)의 일부 또는 전부가 다른 상태로 변경된 경우는, 조건 입력 수단(2) 등을 거쳐 도중에 변경하는 것도 가능하다.
- [0067] 접속 수단(8)은, 예를 들어 라우터나 LAN 등이며, 상태량 측정 수단(3)과 컴퓨터(4)와 정보 제공 수단(5)을 온라인으로 접속한다. 이것에 의해, 엔진(1)의 이상을 포함하는 진단 결과를, 온라인으로 실시간으로 전송해서 제공할 수가 있다. 한편, 온라인 접속은, 접속 수단(8)을 거쳐 무선, 유선 어느것이나 이용하는 것이 가능하다.
- [0068] 송신 수단(7)은 컴퓨터(4)에 마련되어 있다. 또, 컴퓨터(4)는, 제어부(11), 초기 상태량 취득부(12), 엔진 상태 추정부(13), 측정 상태량 취득부(14), 칼만 필터링부(15), 반복부(16), 상관 계산부(17), 인자 분석부(18), 이상 검지부(19), 기계 학습 적용부(20), 이상 진단부(21), 엔진 모델 갱신부(22), 주메모리(23), 보조 메모리(24), 엔진 모델 활용부(27), 출력부(28) 등을 구비한다.
- [0069] 보조 메모리(24)는, 예를 들어 하드디스크 등이다. 보조 메모리(24)에는, 엔진 모델(10), 인자 부하량 스페이스(25) 및 기관 고장 데이터베이스(26)가 저장되어 있다. 엔진 모델(10)은, 엔진(1)의 사양 및 특성에 기초하여 미리 구축된 것이다. 인자 부하량 스페이스(25)에는, 엔진(1)의 이상을 검지하고나서 인자 부하량 데이터가 축적된다. 또, 기관 고장 데이터베이스(26)에는, 시뮬레이션 프로그램으로 엔진(1)의 고장 시뮬레이션을 행하여 수집한 데이터가 집적된다. 한편, 실제로 고장났을 때의 엔진 상태값이 있는 경우는, 그 엔진 상태값을 기관 고장 데이터베이스(26)에 집적할 수도 있다.
- [0070] 조건 입력 수단(2)은, 마우스, 키보드 및 터치 패널 등이다. 컴퓨터(4)의 조작자 또는 사용자(101)는, 조건 입력 수단(2)를 이용하여 초기 상태량을 입력한다. 초기 상태량으로서, 엔진(1)의 부하(Q_b)와 연료 펌프 랙 위치(h_p)를 포함하는 연료 공급량을 입력하는 것이 바람직하다. 이것에 의해, 엔진(1)의 상태를 추정하는 데 있어서 중요한 엔진(1)의 부하(Q_b)와 연료 펌프 랙 위치(h_p)를 포함하는 연료 공급량에 기초하여 추정 상태량을 얻을 수가 있다. 입력된 초기 상태량은, 컴퓨터(4)의 초기 상태량 취득부(12)로 송신되고 취득된다. 또, 엔진 모델(10)이 바뀔 정도로 운전 조건이 바뀌었을 때에, 조건 입력 수단(2)에 의해, 조건 신호를 입력할 수도 있다.
- [0071] 상태량 측정 수단(3)은 각종 센서 등이다. 상태량 측정 수단(3)에서는, 측정 상태량으로서 엔진(1)의 회전수(n_e)를 얻는 것이 바람직하다. 이것에 의해, 엔진(1)으로서 측정할 기회가 많은 엔진(1)의 회전수(n_e)를 엔진(1)의 이상 진단에 이용할 수 있고, 측정 정밀도도 높게 할 수가 있다. 한편, 상태량 측정 수단(3)에서 측정되는 측정 상태량으로서, 그밖에 예를 들어 엔진(1)의 소기압(P_s), 배기 가스 온도(T_e) 및 엔진(1)의 부하(Q_b) 등이 있다. 상태량 측정 수단(3)에 의해서 측정된 측정 상태량은, 컴퓨터(4)의 측정 상태량 취득부(14)로 송신된다. 또, 측정 상태량으로서, 측정값 그 자체 이외에, 측정값의 어떤 기간의 평균값이나 평균값과의 차 등, 측정값에 기초하여 처리한 것이더라도 된다.
- [0072] 출력부(28)는, 컴퓨터(4)에 의한 엔진(1)의 진단 결과를, 송신 수단(7), 정보 제공 수단(휴먼 인터페이스 수단)(5) 및 이상시 제어 수단(6)으로 출력한다.
- [0073] 한편, 정보 제공 수단(5), 이상시 제어 수단(6) 및 송신 수단(7)은, 컴퓨터(4)의 외부에 마련하는 것도 가능하

다.

- [0074] 정보 제공 수단(5)은, 엔진(1)의 이상 진단 결과로서, 엔진(1)의 과급기 회전수(n_{tc}), 소기압(P_s), 소기 온도(T_s) 및 배기 가스 온도(T_e) 중 적어도 하나의 결과를 제공하는 것이 바람직하다. 이것에 의해, 엔진(1)의 상태를 추정하는 데 있어서 유용한 과급기 회전수(n_{tc}), 소기압(P_s), 소기 온도(T_s) 또는 배기 가스 온도(T_e)에 대한 진단 결과를 얻을 수가 있다. 또, 정보 제공 수단(5)은, 엔진(1)의 이상 진단 결과 뿐만 아니라 이상 검지 정보를 포함하는 모든 이상에 관련된 정보를 제공하는 것이 가능하다.
- [0075] 송신 수단(7)은, 출력된 진단 결과를, 컴퓨터(4)와는 다른 장소에 설치된 기기에 접속 수단(8)을 거쳐 유선 또는 무선 LAN을 통해서 송신한다. 이것에 의해, 엔진(1)으로부터 떨어진 장소에 있어서도 실시간으로 엔진(1)의 이상 진단 결과를 포함하는 이상 정보를 알 수가 있다. 한편, 도 1에서는, 이상 정보를 수신하는 개소로서 브릿지(100) 및 선사(船社) 등의 육상의 사용자(101)를 나타내고 있다. 예를 들어 컴퓨터(4)가 기관실에 있는 경우, 정보 제공 수단(5)은 이상 정보를 선내(船内) LAN을 통해서 브릿지(100)로 송신한다.
- [0076] 정보 제공 수단(휴먼 인터페이스 수단)(5)은, 예를 들어 모니터나 스피커 등이다. 정보 제공 수단(휴먼 인터페이스 수단)(5)으로부터 엔진(1)의 이상 정보가 제공됨으로써, 승조원 등은 이상 시에 신속하면서도 적절하게 대응하는 것이 가능해진다. 한편, 정보 제공 수단(5)에는, 휴먼 인터페이스 수단 이외에, 이상 정보를 일시적으로 모아두는(저장하는) 기억 수단이나, 이상 정보를 예를 들어 스마트폰으로 전송하는 전송 수단 등 모든 정보의 제공에 관련된 수단을 포함한다.
- [0077] 이상시 제어 수단(6)은, 이상 검지 결과 또는 이상의 진단 결과에 기초하여 이상 시에 엔진(1)을 자동적으로 또는 승조원으로부터의 조작에 의해서 제어한다. 이상 시에 엔진(1)을 제어하는 것에 의해, 엔진(1)의 이상이 악화되거나 고장에 이르는 것을 방지할 수 있다. 한편, 이상시 제어 수단(6)에 제공되는 정보 또는 신호는, 정보 제공 수단(5)에 제공되는 정보의 미가공 정보 또는 신호이더라도 된다.
- [0078] 도 2는 엔진의 이상 진단 방법의 플로차트, 도 3은 엔진의 이상 진단의 개요도이다. 한편, 엔진의 이상 진단 방법은 프로그램으로서 제공 가능하기 때문에, 이하에서는, 엔진의 이상 진단 프로그램이 엔진의 이상 진단 방법에 있어서의 각 스텝을 컴퓨터에 실행시키는 것으로서 설명한다.
- [0079] 퍼스널컴퓨터(PC)가 엔진의 이상 진단 프로그램의 실행을 개시하면, 제어부(11)는, 보조 메모리(24)에 기억되어 있는 엔진 모델(10)을 읽어들인다(엔진 모델 읽어들이기 스텝 S1).
- [0080] 엔진 모델 읽어들이기 스텝 S1 후, 초기 상태량 취득부(12)는, 조건 입력 수단(2)에서 입력된 엔진 모델(10)의 초기 상태량을 취득한다(초기 상태량 취득 스텝 S2).
- [0081] 초기 상태량 취득 스텝 S2 후, 제어부(11)는, 엔진 모델 활용부(27)에 있어서 읽어들이인 엔진 모델(10)에 초기 상태량을 적용하고 엔진 모델(10)을 활용한다(엔진 모델 활용 스텝 S3). 엔진 모델 활용 스텝 S3에 있어서는, 엔진 모델(10)의 초기 설정이나 갱신이 행해진다. 엔진 모델(10)을 사용하기 위해서 임의의 초기 상태량을 적용할 필요가 있지만, 엔진 모델(10)을 활용하는 엔진 모델 활용 스텝 S3에 있어서 가능한 한 현재의 상태에 가까운 초기 상태량(예를 들어 부하나 연료량)을 적용하면, 엔진 모델(10)에서의 계산 시간이 적어지거나, 엔진 모델(10)에 의한 추정 계산의 정밀도가 오르는(높아지는) 등의 엔진 모델(10)의 활용이 도모된다. 또, 칼만 필터링 스텝 S6에서의 잔차의 입력, 또는 취득한 계측 상태량을 처리한 결과를 엔진 모델 활용 스텝 S3에 있어서 활용하는 것에 의해 엔진 모델(10)의 갱신이 행해지고, 엔진 모델(10)이 실물의 엔진(1)에 충실하게 되어 활용이 도모된다.
- [0082] 엔진 상태 추정부(13)는, 엔진 모델(10)에서 초기 상태량에 기초하여 엔진(1)의 상태를 계산하고 추정 상태량을 얻는다(엔진 상태 추정 스텝 S4).
- [0083] 또, 계측 상태량 취득부(14)는, 상태량 계측 수단(3)에 의한 계측에 의해 얻어진 엔진(1)의 계측 상태량을 취득한다(계측 상태량 취득 스텝 S5).
- [0084] 칼만 필터링부(15)는, 취득한 계측 상태량과 계산한 추정 상태량과의 잔차를 비선형 칼만 필터에 입력한다(칼만 필터링 스텝 S6). 칼만 필터링 스텝 S6에 있어서는, 상태 추정과 모델 파라미터의 추정을 행한다.
- [0085] 칼만 필터링 스텝 S6 후, 엔진 모델 갱신부(22)는, 엔진 모델(10)을 갱신할 필요가 있는지의 여부를 판정한다(모델 갱신 판정 스텝 S7).
- [0086] 엔진 모델 갱신부(22)는, 모델 갱신 판정 스텝 S7에 있어서 「Yes(예)」, 즉 엔진 모델(10)을 갱신할 필요가 있

다고 판정한 경우는, 칼만 필터링 스텝 S6에서 얻어진 결과 또는 취득한 계측 상태량을 처리한 결과를 엔진 모델 활용 스텝 S3에 적용해서, 모델 파라미터를 갱신하는 것에 의해 엔진 모델(10)을 갱신한다(모델 갱신 스텝 S8). 엔진 모델(10)을 갱신함으로써, 엔진(1)의 경년 열화 등에 대응하여, 추정 상태량의 계산 정밀도를 항상 높은 상태로 유지할 수가 있다. 또, 컴퓨터(4)에서 엔진 모델(10)을 갱신하는 것에 의해, 추정 상태량의 계산 정밀도의 향상을 용이하게 할 수가 있다. 모델 갱신 판정 스텝 S7에 있어서의 판정은, 미리 모델 파라미터에 문턱 값을 설정하는 것에 의해 행해진다.

- [0087] 한편, 모델 갱신 판정 스텝 S7에 있어서 「No(아니오)」, 즉 엔진 모델(10)을 갱신할 필요가 없다고 엔진 모델 갱신부(22)가 판정한 경우, 반복부(16)는, 소정의 시간이 경과했는지의 여부를 판정한다(시간 경과 판정 스텝 S9). 반복부(16)는, 예를 들어 0.1초 등의 시간으로 구획지어, k , $k+1$, $k+2$...로 반복한다.
- [0088] 반복부(16)는, 시간 경과 판정 스텝 S9에 있어서 「No」, 즉 소정의 시간이 경과되지 않았다고 판정한 경우는, 비선형 칼만 필터에 입력해서 얻어진 칼만 계인을 엔진 모델(10)에 적용하고, 엔진 상태 추정 스텝 S4와 계측 상태량 취득 스텝 S5와 칼만 필터링 스텝 S6을 반복한다(반복 스텝 S10).
- [0089] 이와 같이, 상태 추정과 모델 파라미터 추정이라고 하는 칼만 필터의 두 기능을 사용하여, 엔진 모델(10)의 갱신과 상태 추정을 반복한다. 한편, 계측 상태량이 확실한 경우는, 트랙킹 필터를 이용하여 모델 파라미터를 동정(同定)하고, 칼만 필터는 상태 추정만을 행할 수도 있다.
- [0090] 또, 비선형 칼만 필터는, 언센티드(무향) 칼만 필터 또는 확장 칼만 필터로 하는 것이 바람직하다. 이것에 의해, 비선형 시스템인 엔진(1)에 대해서, 칼만 계인을 보다 적절한 것으로 하여 추정 상태량의 계산 정밀도를 향상시킬 수가 있다.
- [0091] 반면에, 시간 경과 판정 스텝 S9에 있어서 「Yes(예)」, 즉 소정의 시간이 경과했다고 반복부(16)가 판정한 경우, 상관 계산부(17)는, 비선형 칼만 필터에의 입력 시에 얻은 잔차의 상관을 계산한다(상관 계산 스텝 S11). 상관 계산 스텝 S11에 있어서의 잔차의 상관 계산은, 상관 행렬에 기초하여 행하는 것이 바람직하다. 이것에 의해, 간단한 계산에 의해 잔차의 상관 계산 정밀도를 향상시킬 수가 있다.
- [0092] 한편, 비선형 칼만 필터에의 입력 시에 얻은 잔차 대신에, 취득한 계측 상태량을 이용하여, 상관을 계산할 수도 있다.
- [0093] 상관 계산 스텝 S11 후, 인자 분석부(18)는, 잔차의 상관에 대해서 인자 분석하여 인자 부하량을 구한다(인자 분석 스텝 S12).
- [0094] 한편, 잔차의 상관 대신에, 취득한 계측 상태량의 상관을 이용하여 인자 분석을 행하고, 인자 부하량을 구할 수도 있다.
- [0095] 인자 분석 스텝 S12 후, 이상 검지부(19)는, 인자 부하량으로부터 인자 스코어를 계산하여 이상을 검지한다(이상 검지 스텝 S13). 이상 검지 스텝 S13에서 검지된 이상은, 이상 정보로서 출력할 수도 있다.
- [0096] 인자 분석 스텝 S12에 있어서는, 상관 행렬로서의 공분산 행렬에 기초하여 특이값 분해(SVD)를 해서 인자 부하량을 도출하는 것이 바람직하다. 이것에 의해, 공분산 행렬의 형태에 얽매이지 않고 본질적으로 중요한 것을 추출하여, 엔진(1)의 이상을 조기에 검지할 수가 있다.
- [0097] 인자 분석 스텝 S12에서 구한 인자 부하량은 인자 부하량 스페이스(25)에 축적된다(인자 부하량 축적 스텝 S14). 기계 학습 적용부(20)는, 기관 고장 데이터베이스(26)에 기억되어 있는 데이터를 읽어냄(기관 고장 데이터 읽어내기 스텝 S15)과 함께, 인자 부하량을 기계 학습에 적용한다(기계 학습 적용 스텝 S16). 기계 학습은, 자기 조직화 맵(SOM)을 이용한다. 이것에 의해, 교사 없는 기계 학습인 SOM을 이용해서 엔진(1)의 이상 원인을 명확하게 분류할 수가 있다. 한편, 기계 학습 알고리즘으로서, SOM 이외에 SVM(Support vector machine)이나, Fuzzy C-means 등을 이용할 수도 있다.
- [0098] 이상 진단부(21)는, 기계 학습에 기초하여 이상을 진단한다(이상 진단 스텝 S17).
- [0099] 이상 검지 스텝 S13 및 이상 진단 스텝 S17 후, 출력부(28)는, 엔진(1)의 이상 진단 결과를 포함하는 이상 정보를 출력한다(출력 스텝 S18). 출력 스텝 S18에 있어서의 이상 정보의 출력에는 이상의 진단 결과 이외에도 이상 검지 정보나 부수한 정보를 포함시킬 수가 있다. 출력처(출력할 곳)는, 상술한 바와 같이 정보 제공 수단(휴먼 인터페이스 수단)(5), 이상시 제어 수단(6) 및 송신 수단(7)이다.
- [0100] 이하에 인자 분석을 이용한 엔진(1)의 이상 진단에 대하여 상세하게 설명한다.

[0101] 도 4는 인자 분석의 개념도이다. 인자 분석은, 모든 계측값(계측 상태량) y_m 에 공통이며, 그 관계성을 a_{im} 으로 표시할 수 있는 숨은(계측할 수 없는) 변수 인자 F를 찾는 것이다. 이것은 선형의 관계 파라미터 a를 사용하여 아래 식(1)과 같이 표시된다.

[0102] [수학식 1]

$$y_i = a_{i1}f_1 + a_{i2}f_2 + \dots + a_{im}f_m + u_i \Rightarrow \mathbf{Y} = \mathbf{AF} + \mathbf{U} \quad \dots(1)$$

[0104] 식 1에 있어서, f는 공통 인자, a_{im} 은 선형 계수, 남은 u_i 는 설명할 수 없는 인자로서 계측 에러나 노이즈이다.

[0105] 개개의 계측값 y_m 은, 어떤 수의 공통 인자 f에 선형으로 결부되어 있다. 선형 계수 a_{im} 은 인자 부하량이라 불린다. 인자 분석이란 숨은 변수(인자)를 찾는 것인데, 이 인자는 계측값이 변화했을 때의 어떠한 이상(사고 원인)이라고 간주할 수가 있다.

[0106] 도 5는 계측 데이터를 이용한 인자 분석의 예를 나타내는 도면이다. 도 5에 나타내는 바와 같이, 계측 데이터 Y를 사용한 인자 분석의 예로서, 계측값의 구체적인 추적 변화에 의한 주인자(主因子)와 인자 부하량 A의 계산예를 예시하면, 계측값 y_1, y_2, \dots, y_m 은 예를 들어 엔진(1)의 소기압, 배기 가스 온도, \dots 엔진 부하를 표시하고, 어떤 시각의 구간(예를 들어 0~t 구간)을 통합해서(하나로 합쳐서) 행렬을 만든다(도 5의 (a)). 이 행렬의 공분산 행렬을 계산하고 각 변수의 표준 편차로 나누어 R을 구한다(도 5의 (b)). R을 특이값 분해(SVD)해서 특이값 S를 구한다. 다음에 제1 인자 부하량 A를 구한다(도 5의 (c)). 각 제1 인자 부하량 a의 2승(제곱)을 더해서 분산의 총합으로 나눈 것이 인자 스코어 D(인덱스)이다(도 5의 (d)).

[0107] 한편, 공분산 행렬의 상관 행렬을 특이값 분해(SVD)하는 것에 의해 제1 단계의 인자 부하량을 구하고, 이것을 EM(Expectation Maximization)법을 사용하여, 더욱 특징이 있는 현저한 인자 부하량을 구할 수도 있다.

[0108] 도 6은 인자 스코어의 예를 나타내는 도면이고, 도 6의 (a)는 원래(미가공)의 인자 스코어 F1(D1)를 나타내고, 도 6의 (b)는 필터링 후의 인자 스코어 F1(D1)를 나타내고 있다. 또, 도 7은 각 계측값의 인자 부하량의 변화를 나타내는 도면이고, 도 7의 (a)는 소기압, 도 7의 (b)은 과급기 회전수, 도 7의 (c)는 배기 가스 온도, 도 7의 (d)는 소기 온도이다. 인자 스코어 D1(주인덱스)은, 시계열로 배열해 가면, 예를 들어 도 6에 나타내는 바와 같이 엔진(1)의 공기 냉각기의 냉각수의 유량이 줄어들기 시작했을 때 등, 엔진(1)에 이상(어떠한 변화)이 발생했을 때에 변화가 보이게 된다.

[0109] 바꾸어 말하면, 도 7에 나타내는 바와 같이 인자 부하량 행렬 A에 포함되어 있는 정보는 추진 시스템의 어떠한 변화에 의한 이상을 표시하는 것이다. 또한, 인자 부하량(행렬 A의 행)은 오차의 요소로서의 추진 시스템 파라미터 간의 관계 강도를 표시하고 있으며, 이상 원인의 특징을 표시한다. 따라서, 인자 부하량을 기계 학습 알고리즘, 예를 들어 자기 조직화 맵(SOM) 등을 사용하여 기계 학습을 하는 것에 의해, 추진 시스템의 사고의 원인 분류에 이용된다. 또, 인자 스코어 D1은 이상의 조기 검지에 이용된다.

[0110] 도 3에 나타내는 바와 같이 본 발명에서는 칼만 필터링부(15)로서 칼만 필터 관측기를 이용하고, 여기에서는, 계측 상태량과 추정 상태량과의 잔차를 사용하여 인자 분석을 한다. 즉 본 발명에서는, 또 다른 한가지 방법으로서 계측값(계측 상태량) Y 대신에 계측 상태량과 엔진 상태 추정부(13)에 의한 추정 상태량과의 칼만 필터링부(15)에서 고유하게 계산되는 잔차 E를 이용하여 상기와 마찬가지로 인자 분석을 행한다. 이 잔차 E는 추정 상태량으로부터의 괴리(乖離)를 의미하는 것이며, 추정 상태량이 정상 상태라고 생각하면 정상 상태로부터의 괴리를 반영하는 것이다. 따라서, 엔진(1)에 어떠한 이상이 발생한 것을 잔차 E에 기초하여 검지할 수 있다.

[0111] 칼만 필터 관측기는, 디지털 트윈의 엔진 모델(10)을 베이스로 하고 있다. 칼만 필터 관측기에 있어서는, 엔진(1)의 동적 프로세스에 의해 취득한 계측 상태량과, 초기 상태량에 기초하여 수학적인 엔진 모델(10)의 프로세스에 의해 계산한 추정 상태량과의 잔차 E를 비선형 칼만 필터에 입력한다. 이것에 의해 칼만 계인이 얻어진다. 칼만 계인은, 엔진 모델(10)에 적용되고, 수학적인 엔진 모델(10)의 프로세스 제어에 이용된다.

[0112] 이와 같이, 엔진(1)의 디지털 트윈 모델로서의 엔진 모델(10)을 이용하여, 엔진 상태를 모니터링하는 것에 의해, 이른 단계에서 엔진(1)의 고장을 검지하여, 원인을 진단할 수가 있다.

[0113] 도 8은 엔진의 수학 모델의 예를 나타내는 도면이다.

[0114] 도 8 중의 화살표의 좌측은, 실제의 엔진(1)에 있어서의 연료 공급계(연료 펌프 랙 위치(h_p))와 엔진(1)의 회전

수(n_e) 등의 계측계의 관계도이고, 엔진(1)에 있어서의 계측점과 계측값을 나타내고 있다. 도 8 중의 우측은, 엔진(1)의 수학 모델인 엔진 모델(10)을 나타내고 있다.

[0115] 또, 도 8에 있어서는 상태량 계측 수단(3)을 동그라미로 에워싼 영문자(원영문자)로 나타내고 있다. 동그라미로 에워싼 「T」는 온도계, 동그라미로 에워싼 「P」는 압력계, 동그라미로 에워싼 「n」은 회전수계, 동그라미로 에워싼 「Q」는 축 마력계이다. 부하 변동은 축 마력계로 계측한다.

[0116] 계측값은 스텝(k, k+1, k+2, ...) 마다 계측하고, 엔진 모델(10)에서 스텝 마다 계산(추정)한다. 엔진 모델(10)의 추정 정밀도를 높이기 위해서, 가장 확실하게 높은 정밀도로 계측할 수 있는 엔진(1)의 회전수(n_e)를 취득해서 칼만 게인을 산출하여 엔진 모델(10)을 수정해 간다. 이것이 칼만 필터링이다.

[0117] 도 8에 나타내는 엔진(1)의 수학 모델에 있어서, 통상 상태에 있어서의 거동은 비선형의 상태 공간 모델로 표시할 수가 있다. 비선형의 상태 공간 모델은, 상태 방정식 X로 표시되는 방정식, 상태량 x로 표시되는 각 파라미터, 입력량 u로 표시되는 입력으로 구성된다. 상태 방정식 X의 우변은, 우측 정가운데의 블록에 나타내어지는 각 함수로 표현되고, 상태량 n_e , n_{tc} , P_s , T_e , P_e , G_f 와 입력량 h_p , Q_b 의 관계가 5개의 식으로 표현된다.

[0118] 예를 들어, 입력으로서 연료 펌프 랙 위치(h_p)와 엔진의 부하(Q_b)를 취하고, 상태(x)와 출력(y)으로서 엔진(1)의 회전수(n_e), 과급기 회전수(n_{tc}), 소기압(P_s), 배기 가스압(P_e), 배기 가스 온도(T_e), 연료 유량(G_f)을 취하고, 각각의 시스템 함수 F와 관측 방정식 $y(t)$ 의 출력 함수 H를 표시한다.

[0119] 도 8의 예에서는 출력되는 관측값 y는 상태량 x와 똑같다.

[0120] 도 9는 엔진 모델의 파라미터를 나타내는 도면이다.

[0121] 모델 파라미터로서는, 프로펠러 토오크 등의 엔진의 부하(Q_b), 엔진 토오크(Q_e), 관성 모멘트(I_e , I_{tc}), 연료 펌프 랙 위치(h_p), 엔진의 회전수(n_e), 과급기 회전수(n_{tc}), 대기압(P_a), 대기 온도(T_a), 소기압(P_s), 소기 온도(T_s), 실린더내 최대 압축압(P_c), 실린더내 최대 연소압(P_z), 실린더내 평균 유효압(P_i), 소기 리시버 체적($V_{a,r}$), 배기 리시버 체적($V_{e,r}$), 열역학 상수(定數)(R_a , R_e , k_e , C_{pe} , C_{pa}), 냉각수 온도(T_w), 컴프레서 출구 온도(T_c), 배기 가스압(P_e), 배기 가스 온도(T_e), 터빈 출구 온도(T_{out}), 터빈 출구압(P_{out}), 연료 유량(G_f), 소기 유량(G_a), 컴프레서 공기 유량(G_c), 배기 가스 유량(G_e)을 들 수 있다.

[0122] 도 10은 칼만 필터의 예측(추정) 스텝(칼만 필터링 스텝 S6)과 갱신(수정) 스텝(모델 갱신 스텝 S8)의 개념과 계산식을 나타내는 도면이다.

[0123] 엔진 모델(10)의 실제와의 차이와, 상태량 계측 수단(3)에 의한 계측의 불확실함을 고려하면, 엔진 모델(10)에 의한 추정 상태량과 계측 상태량 사이에 오차(잔차)가 생긴다. 이 오차를 계산하여, 계측 상태량으로 수정하면서, 추정 상태량을 가능한 한 정확한 값에 가깝게 하는(접근시키는) 것이 비선형 칼만 필터인 언센티드(Unscented) 칼만 필터이다. 도 10에 언센티드 칼만 필터의 기초를 나타낸다.

[0124] 칼만 필터를 적용함으로써, 이산적인 각 샘플링 시간 k에 있어서, 계측과 모델링의 불확실함을 고려하면서, 추진 시스템의 거동이 계산된 오차로 반복해서 표시된다(아래 식 2).

[0125] [수학식 2]

[0126]
$$e_k = y_k - \hat{y}_{k|k-1} \quad \dots(2)$$

[0127] 통상 상태의 운전에서는, 오차의 분포는 0평균의 정규 분포라고 간주된다. 이상 상태를 검지하기 위해서, 칼만 필터에서 생성된 오차를 인자 분석에 이용한다(제공한다).

[0128] 도 11은 칼만 필터와 인자 분석의 관계를 나타내는 도면이다.

[0129] 인자 분석 모델($Y=AF+U$)의 파라미터 A는, 상관 행렬(공분산 행렬)로부터 추정된다. 상술한 바와 같이, 칼만 필터 관측기는, 디지털 트윈의 엔진 모델(10)을 베이스로 하고, 공분산 추정이 매회 행해지고, 칼만 게인은 어느 상태량을 수정해야할지의 인디케이터로서 사용된다.

[0130] 도 12는 인자 스코어에 의한 이상 검지의 예를 나타내는 도면이다.

- [0131] 도 12는, 실제(實) 엔진(1)의 과급기 흡입 필터의 폐색(閉塞) 모의 실험을 행하고, 엔진의 이상 진단 시스템에서 이상을 신속하게 검지한 예이다. 한편, 그래프의 횡축은 샘플의 횡수이고 1횡수는 0.1초이다. 과급기 흡입 필터가 점점(서서히) 폐색되어 압손(壓損)이 증가해 가는데, 압손이 증가하기 시작하는 초기에 인자 스코어 F1이 급상승하기 때문에 이상을 검지할 수 있다.
- [0132] 이와 같이, 계측 상태량과 계산한 추정 상태량과의 잔차를 이용해서 인자 분석을 실시하는 것에 의해, 계산한 인자 스코어에 기초하여 엔진(1)의 이상을 조기에 검지할 수가 있다. 또, 인자 부하량을 기계 학습에 적용하여 엔진(1)의 원인을 진단할 수가 있다. 또, 컴퓨터(4)를 이용해서, 엔진(1) 이상의 조기 검지와 그 원인의 진단을 행한 결과를 포함하는 이상 정보를 제공할 수가 있다.
- [0133] 한편, 컴퓨터(4)의 각 구성요소 및 주변 수단은, 적당히 외부장착(外付)하는 것이나 내장(內裝)하는 것이 가능하고, 컴퓨터(4)를 복수의 컴퓨터가 역할 분담하거나, 일부를 디스크리트(discrete) 회로로 하는 것도 가능하다.

산업상 이용가능성

- [0135] 본 발명은, 예를 들어 취항선(就航船)의 엔진 이상의 조기 검지와 진단을 행하여, 떨어진(이격된) 장소에 있어서도 실시간으로 엔진의 이상을 포함하는 진단 결과를 알 수 있기 때문에, 안전하면서도 효율적인 운항에 기여한다. 또, 선박 이외의 엔진 이상의 조기 검지와 이상 진단에도 이용할 수가 있다.

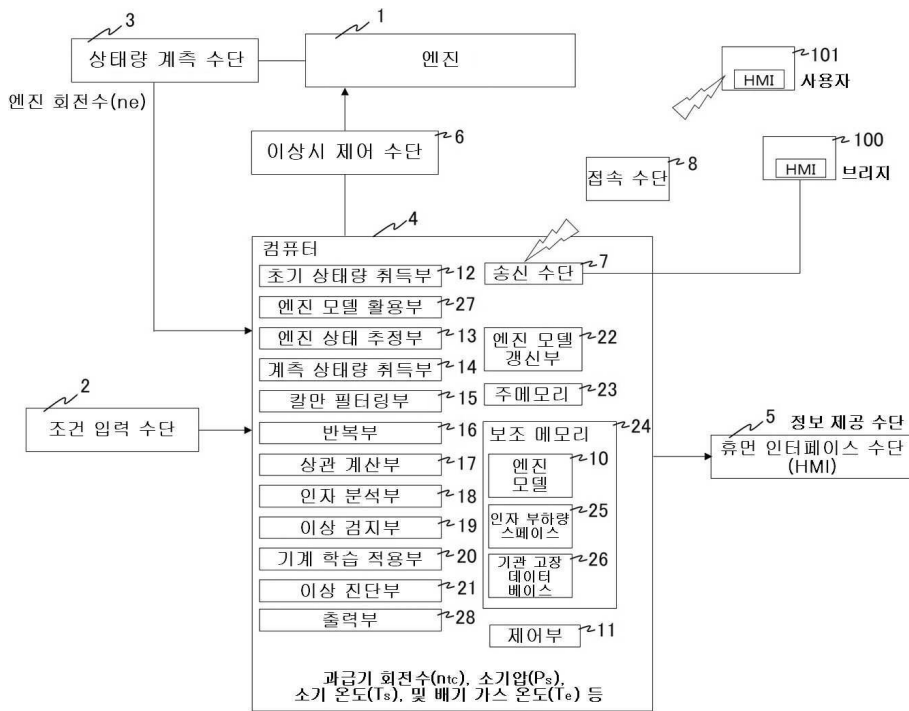
부호의 설명

- [0136] 1: 엔진
- 2: 조건 입력 수단
- 3: 상태량 계측 수단
- 4: 컴퓨터
- 5: 정보 제공 수단(휴먼 인터페이스 수단)
- 6: 이상시 제어 수단
- 7: 송신 수단
- 8: 접속 수단
- 10: 엔진 모델
- S2: 초기 상태량 취득 스텝
- S3: 엔진 모델 활용 스텝
- S4: 엔진 상태 추정 스텝
- S5: 계측 상태량 취득 스텝
- S6: 칼만 필터링 스텝
- S8: 모델 갱신 스텝
- S10: 반복 스텝
- S11: 상관 계산 스텝
- S12: 인자 분석 스텝
- S13: 이상 검지 스텝
- S16: 기계 학습 적용 스텝
- S17: 이상 진단 스텝

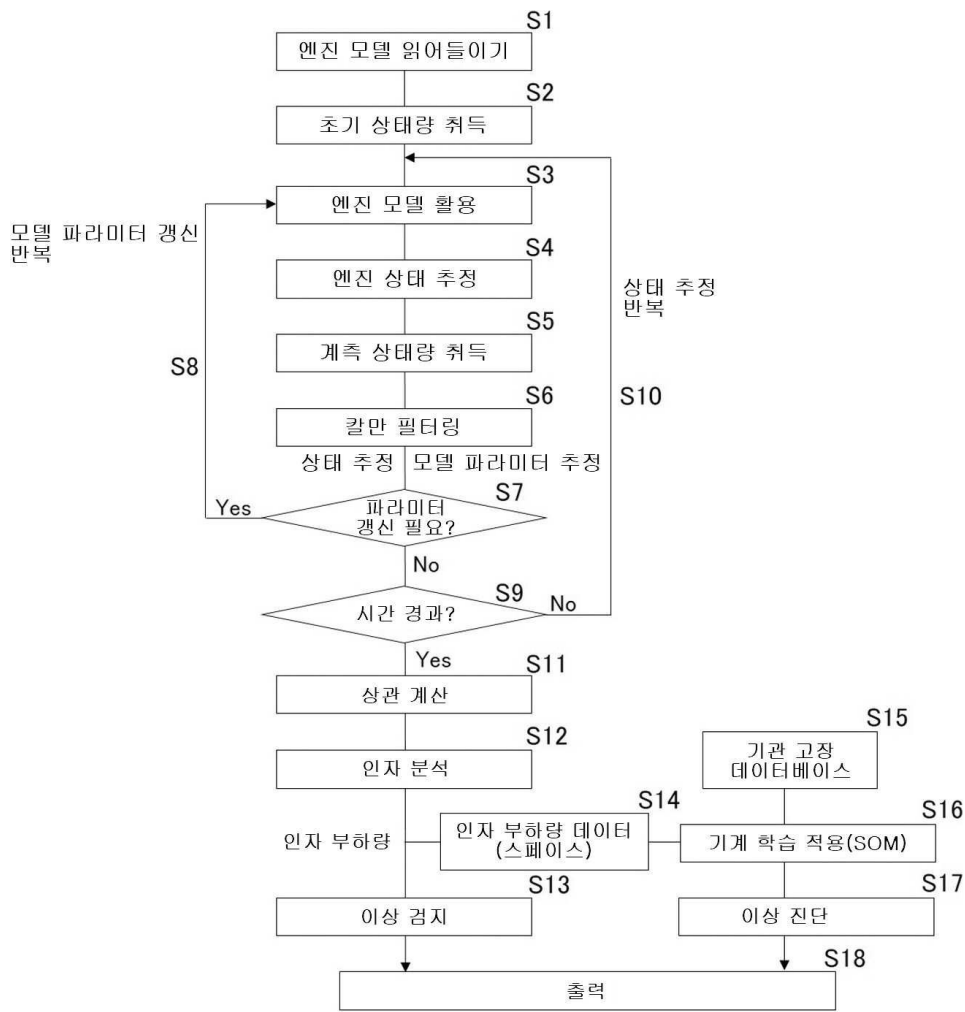
S18: 출력 스텝

도면

도면1



도면2



도면5

어떤 구간의 계측값의 행렬(표준화)을 y_1 ... y_m 로 나타내면, $b_{0,m}$... $b_{t,m}$ 로 나타내어 1분마당의 계측값으로 예를 들어 $b_{0,1}$... $b_{t,1}$... $b_{0,m}$... $b_{t,m}$ (a)

원래(生) 데이터(각 행은 9개의 계측값(추정값)으로 4구간 통합한다) y_1 y_2 y_3 y_4 y_5 y_6 y_7 y_8 y_9 y_0

Time.sec	η_e	η_{tc}	P_s	T_s	T_e	h_p	P_c	P_z	P_i
61	0.901	0.901	0.793	0.944	0.87	0.822	0.788	0.823	0.847
62	0.903	0.896	0.792	0.967	0.87	0.764	0.785	0.808	0.792
63	0.898	0.891	0.788	0.967	0.87	0.798	0.781	0.809	0.818
64	0.897	0.887	0.783	0.967	0.87	0.822	0.776	0.817	0.839
65	0.898	0.889	0.778	0.966	0.87	0.831	0.772	0.816	0.847
66	0.9	0.894	0.778	0.966	0.87	0.83	0.771	0.816	0.847
67	0.902	0.902	0.782	0.966	0.87	0.812	0.774	0.824	0.835

상관 행렬의 계산과 계속되는 특이값 분해

상관 행렬

1.00	0.64	0.41	0.02	0.75	-0.38	0.62	-0.28
0.64	1.00	0.76	0.02	0.35	-0.50	0.99	-0.41
0.41	0.76	1.00	0.04	0.20	-0.41	0.76	-0.26
0.02	0.02	0.04	1.00	0.07	-0.01	0.03	-0.05
0.75	0.35	0.20	0.07	1.00	-0.49	0.34	0.01
-0.38	-0.50	-0.41	-0.01	-0.49	1.00	-0.50	-0.15
0.62	0.99	0.76	0.03	0.34	-0.50	1.00	-0.41
-0.28	-0.41	-0.26	-0.05	0.01	-0.15	-0.41	1.00

잔차 $E = y(t) - \hat{y}(t)$

$R = \frac{E(E')^T}{\sigma_F \sigma_{Ft}}$

{잔차의 상관 행렬의 계산}

특이값(SVD) $R = USV^T$

3.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	1.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	1.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.92	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

주인자 부하량의 계산 (인자는 행 벡터로 표시할 수 있다)

$A = U_{1:m} \sqrt{S_{1:m}}$ (c)

0.635	0.056
0.886	0.045
0.595	0.062
0.003	0.000
0.352	0.396
0.387	0.254
0.872	0.052
0.146	0.505

2주인자에 대한 인자 부하량

2주인자의 분산 $V_j = \sum_{i=1}^n a_{ij}^2$

$V_1 = 3.877, V_2 = 1.37$

인자 스코어(총분산에 대한 각 분산의 비율) $D_j = \frac{V_j}{\sum_{r=1}^j V_r}$

$D_1 = 0.739, D_2 = 0.261$

인자 부하량의 비율 $\lambda_{ij} = \frac{a_{ij}^2}{V_j}$

0.121	0.011
0.169	0.009
0.113	0.012
0.001	0.000
0.067	0.075
0.074	0.048
0.166	0.010
0.028	0.096

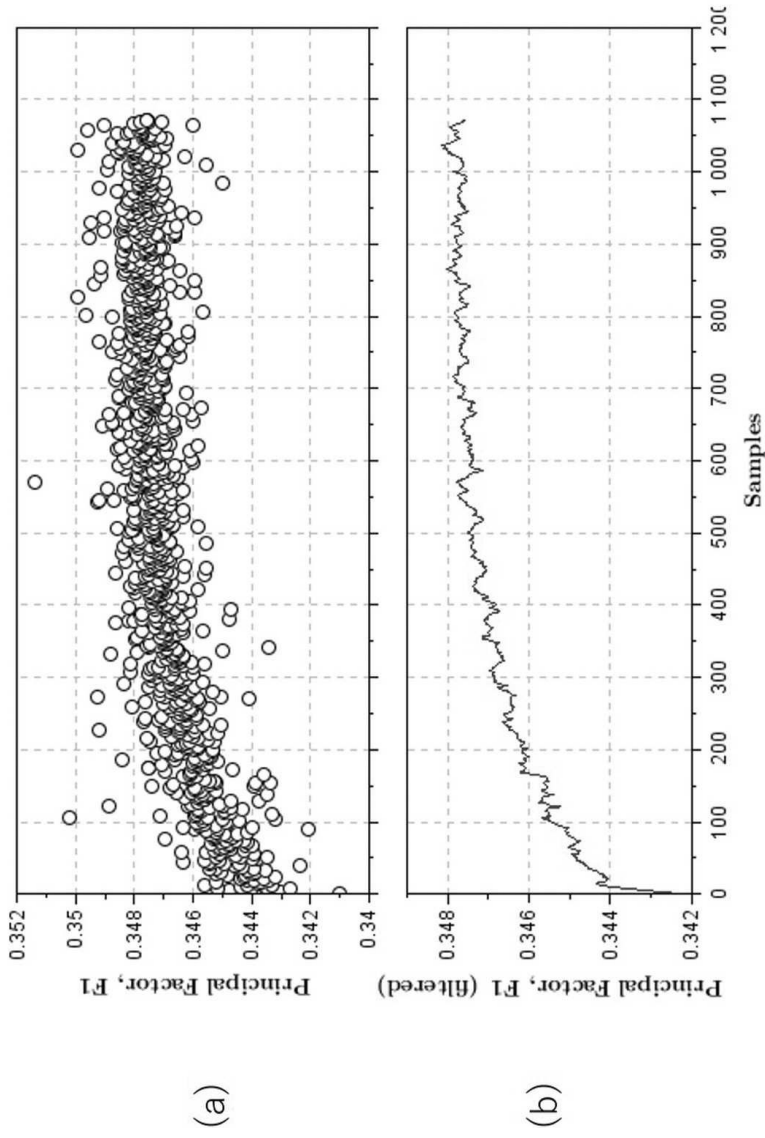
도면6

$$A = U\sqrt{S} = \frac{V_1}{\sum_{r=1}^j V_r} F1 = D1$$

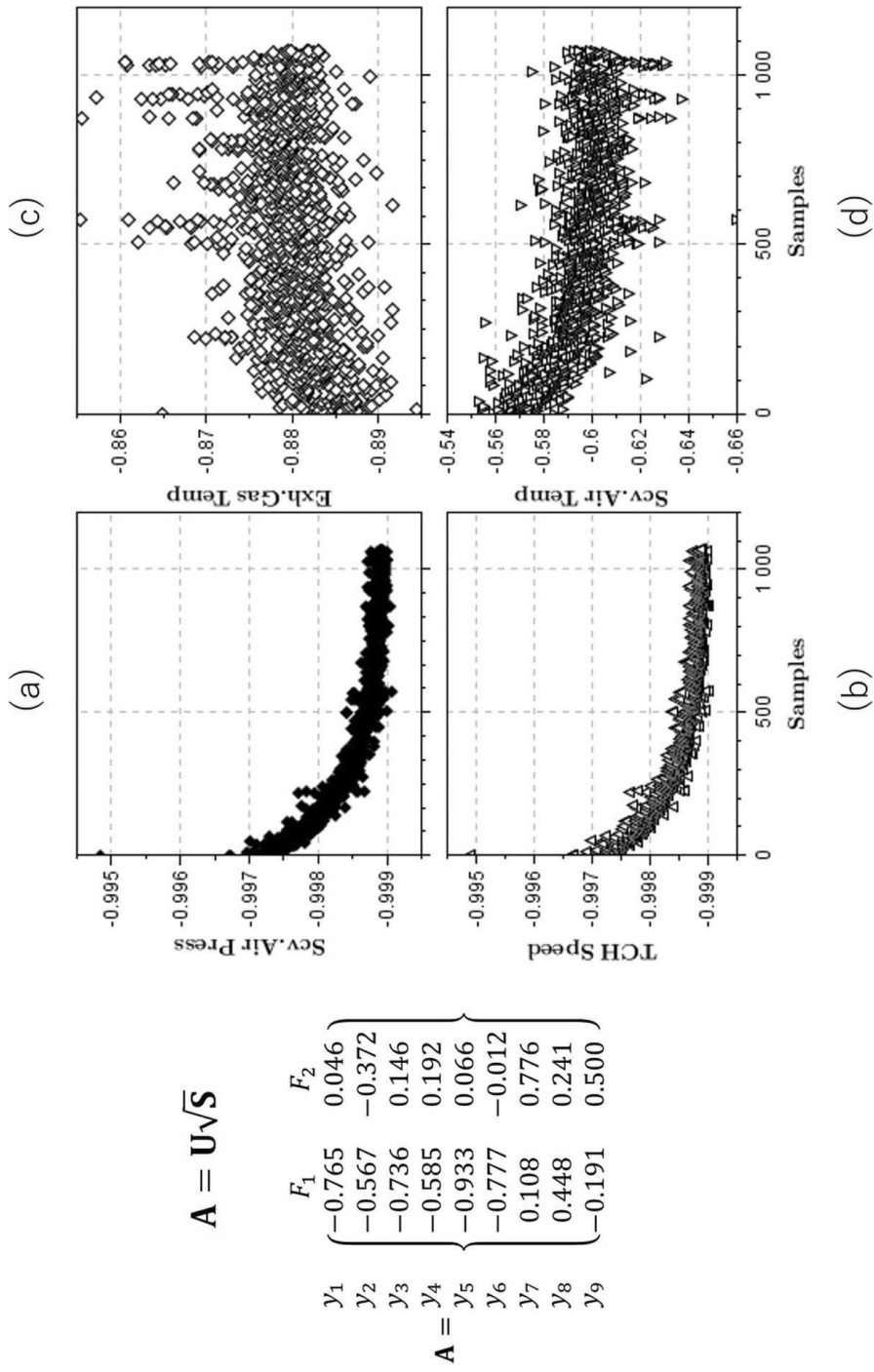
인자 부하량 행렬과 그것에 계속되는 인자 스코어

$A = U\sqrt{S}$

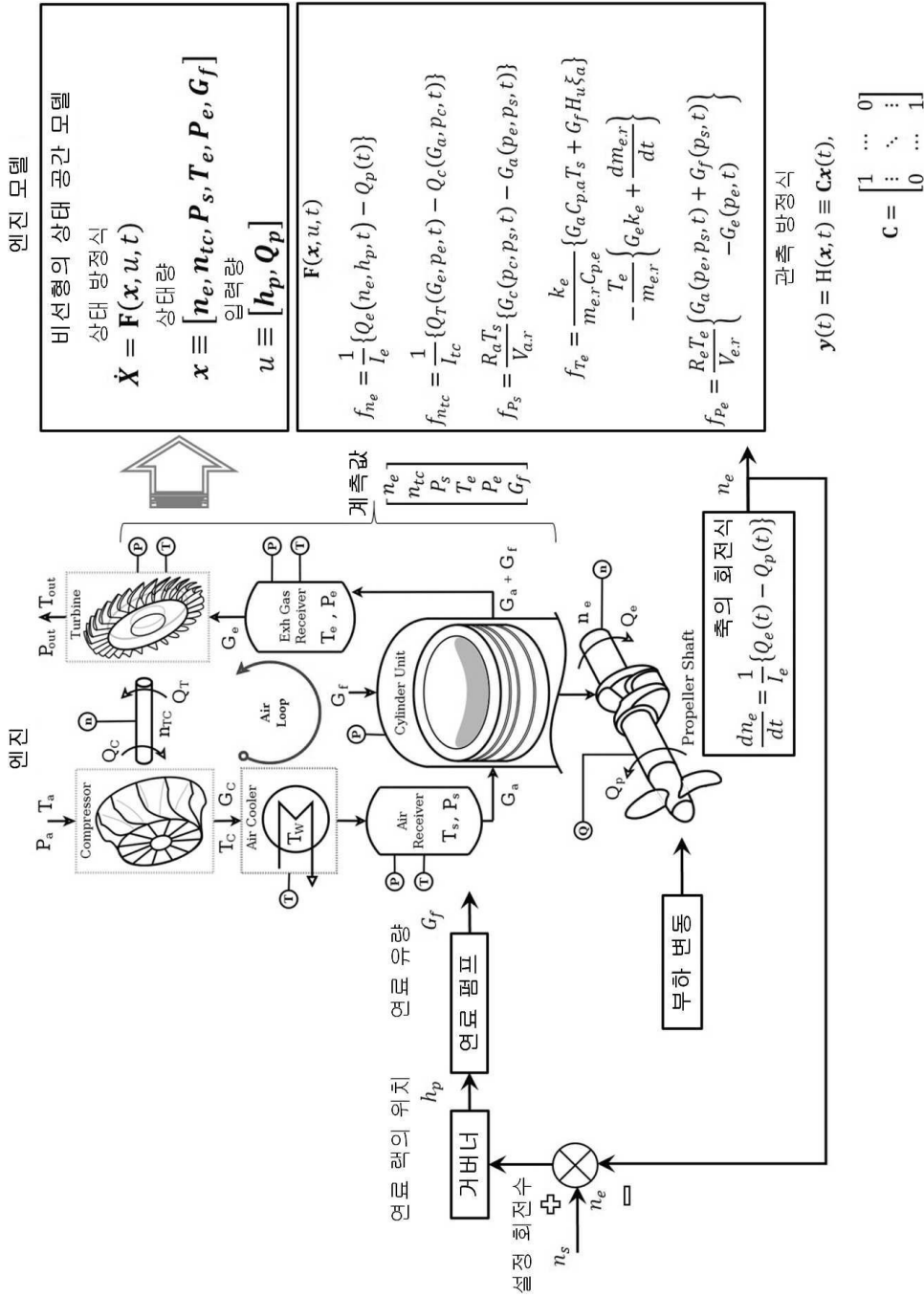
$F1 = D1$



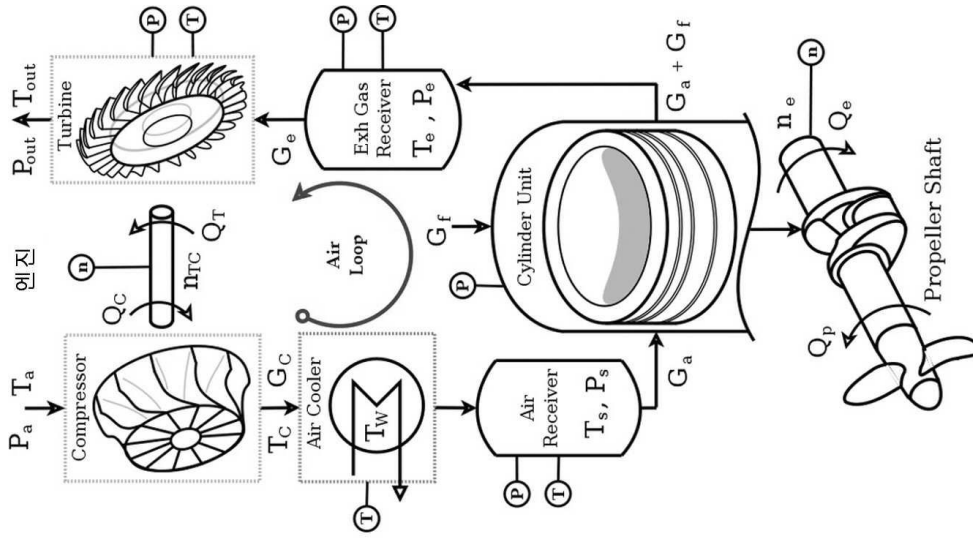
도면7



도면8

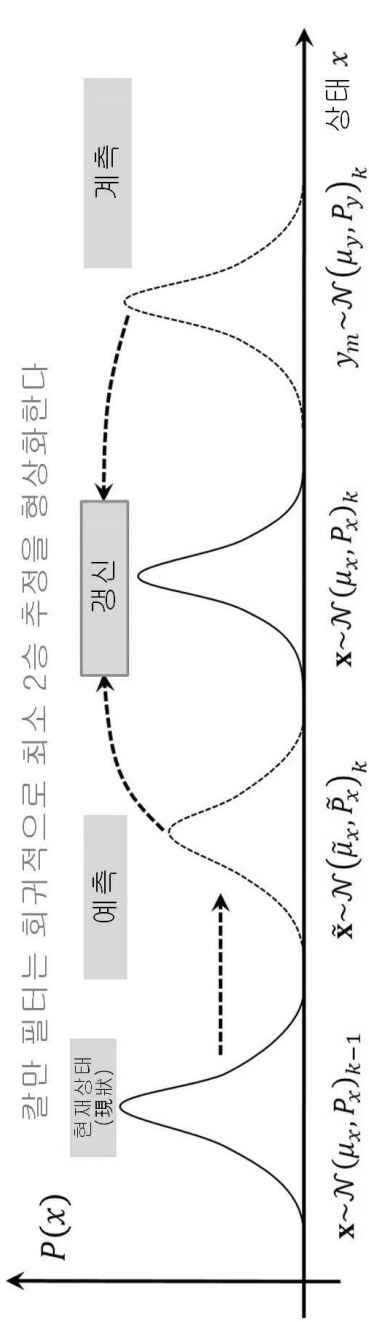


도면9



- Q_p - 프로펠러 토크
- Q_e - 엔진 토크
- I_e, I_{tc} - 관성 모멘트
- h_p - 연료 펌프 랙 위치
- n_e - 엔진 회전수
- n_{tc} - 과급기 회전수
- P_a - 대기압
- T_a - 대기 온도
- P_s - 소기압
- T_s - 소기 온도
- P_c - 실린더내 최대 압축압
- P_z - 실린더내 최대 연소압
- P_i - 실린더내 평균 유효압
- $V_{a,r}$ - 소기 리시버 체적
- $V_{e,r}$ - 배기 리시버 체적
- $R_a, R_e, k_e, C_{pe}, C_{pa}$ - 열역학 상수
- T_w - 냉각수 온도
- T_c - 컴프레서 출구 온도
- P_e - 배기 가스압
- T_e - 배기 가스 온도
- T_{out} - 터빈 출구 온도
- P_{out} - 터빈 출구압
- G_f - 연료 유량
- G_a - 소기 유량
- G_c - 컴프레서 공기 유량
- G_e - 배기 가스 유량

도면10



연센티드 칼만 필터: 예측 스텝	연센티드 칼만 필터: 갱신 스텝
1) 2N+1개의 시그마 포인트의 계산 $\mathbf{x}_{k-1}^{(i)} = \boldsymbol{\mu}_x \mp \sqrt{(N+k)\mathbf{P}_x}, \quad i = 1 \dots N$	1) 계측값의 예측 $\mathbf{y}_k^{(i)} = h_k(\mathbf{x}_k^{(i)}), \quad i = 0 \dots 2N$
2) 시그마 포인트의 전개 $\mathbf{x}_k^{(i)} = f_{k-1}(\mathbf{x}_{k-1}^{(i)}, u_{k-1}), \quad i = 0 \dots 2N$	2) 평균값과 공분산의 추정 $\boldsymbol{\mu}_y = \sum_{i=0}^{2N} w^{(i)} \mathbf{y}_k^i$ $\mathbf{P}_y = \sum_{i=0}^{2N} w^{(i)} (\mathbf{y}_k^{(i)} - \boldsymbol{\mu}_y) (\mathbf{y}_k^{(i)} - \boldsymbol{\mu}_y)^T + \mathbf{R} \text{ (측정 노이즈의 분산)}$ $\mathbf{P}_{xy} = \sum_{i=0}^{2N} w^{(i)} (\mathbf{x}_k^{(i)} - \boldsymbol{\mu}_x) (\mathbf{y}_k^{(i)} - \boldsymbol{\mu}_y)^T$
3) 예측된 상태의 평균과 공분산의 계산 $\boldsymbol{\mu}_x = \sum_{i=0}^{2N} w^{(i)} \mathbf{x}_k^i$ $\mathbf{P}_x = \sum_{i=0}^{2N} w^{(i)} (\mathbf{x}_k^{(i)} - \boldsymbol{\mu}_x) (\mathbf{x}_k^{(i)} - \boldsymbol{\mu}_x)^T + \mathbf{Q} \text{ (전개 노이즈의 분산)}$	3) 칼만 게인의 계산 $\mathbf{K}_k = \mathbf{P}_{xy} \mathbf{P}_y^{-1}$
	4) 상태량과 분산의 갱신 $\mathbf{x}_k = \boldsymbol{\mu}_x + \mathbf{K}_k (\mathbf{y}_m - \mathbf{y}_k)$ $\mathbf{P}_x = \mathbf{P}_x - \mathbf{K}_k \mathbf{P}_y \mathbf{K}_k^T$

도면12

