



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0159880
(43) 공개일자 2023년11월22일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B25J 19/06 (2006.01) B25J 19/00 (2006.01)
B25J 9/16 (2006.01) G01M 99/00 (2011.01)
G05B 23/02 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
B25J 19/06 (2013.01)
B25J 19/0095 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2023-7036366
- (22) 출원일자(국제) 2022년03월22일
심사청구일자 2023년10월23일
- (85) 번역문제출일자 2023년10월23일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2022/013021
- (87) 국제공개번호 WO 2022/210072
국제공개일자 2022년10월06일
- (30) 우선권주장
JP-P-2021-054667 2021년03월29일 일본(JP)

- (71) 출원인
카와사키 주코교 카부시카가이샤
일본 650-8670 효고현 코베시 추오구 하가시카와
사키초 3초메 1반 1고
- (72) 발명자
카와이 마코토
일본, 6508670, 효고, 고베시, 주오쿠, 히가시카
와사키초 3초메, 1-1, 씨/오 카와사키 주코교 카
부시카가이샤
나가하마 야스히데
일본, 6508670, 효고, 고베시, 주오쿠, 히가시카
와사키초 3초메, 1-1, 씨/오 카와사키 주코교 카
부시카가이샤
- (74) 대리인
특허법인한얼

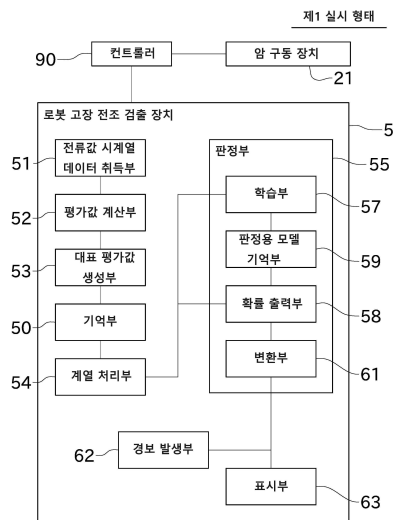
전체 청구항 수 : 총 19 항

(54) 발명의 명칭 **로봇 고장 전조 검출 장치 및 로봇 고장 전조 검출 방법**

(57) 요약

로봇 고장 전조 검출 장치에 있어서, 거동 시계열 데이터 취득부는, 로봇 동작으로부터, 상기 로봇의 관절 모터에 관한 거동 시계열 데이터를 취득하는 처리를, 데이터 수집 단위 기간마다 행한다. 평가값 계산부는, 거동 시계열 데이터에 대하여 평가값을 계산한다. 대표 평가값 생성부는, 데이터 수집 단위 기간마다, 평가값을 대표하는 대표 평가값을 생성한다. 계열 처리부는, 대표 평가값으로 이루어지는 계열을 생성한다. 판정부는, 로봇의 가동 초기에 있어서, 초기 계열에 기초하여 판정용 모델을 작성한다. 판정부는, 가동 초기보다 나중에는, 당해 가동 초기보다 나중의 로봇 동작에 기초하는 데이터를 포함하는 판정용 데이터를 판정용 모델에 입력하여, 판정용 데이터의 특이도를 취득한다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

B25J 9/1674 (2013.01)

G01M 99/00 (2013.01)

G05B 23/02 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

로봇의 고장 전조를 검출하는 로봇 고장 전조 검출 장치로서,

로봇 동작으로부터, 상기 로봇의 관절 모터에 관한 거동 시계열 데이터를 취득하는 처리를, 데이터 수집 단위 시간마다 행하는 거동 시계열 데이터 취득부와,

상기 거동 시계열 데이터 취득부에 의해 취득된 거동 시계열 데이터에 대하여 평가값을 계산하는 평가값 계산부와,

상기 데이터 수집 단위 시간마다, 상기 평가값 계산부에서 얻어진 상기 평가값으로부터, 상기 평가값을 대표하는 대표 평가값을 생성하는 대표 평가값 생성부와,

상기 대표 평가값의 계열을 생성하는 계열 처리부와,

로봇의 가동 초기에 있어서, 상기 계열 처리부가 생성한 계열인 초기 계열에 기초하여 판정용 모델을 작성하고, 상기 가동 초기보다 나중에 있어서, 당해 가동 초기보다 나중의 로봇 동작에 기초하는 데이터를 포함하는 판정용 데이터를, 작성된 상기 판정용 모델에 입력하여, 상기 판정용 데이터의 특이도를 취득하는 판정부

를 구비하는 로봇 고장 전조 검출 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 가동 초기보다 나중에 있어서, 상기 판정부는, 상기 데이터 수집 단위 시간마다, 복수개의 상기 대표 평가값으로 구성되는 판정용 계열을 상기 판정용 데이터로서 상기 판정용 모델에 입력하고, 상기 판정용 모델의 출력에 기초하여 상기 특이도를 취득하고,

상기 판정용 계열을 생성하기 위하여, 상기 계열 처리부는, 상기 판정용 계열을 상기 초기 계열로 초기화한 후, 상기 대표 평가값이 생성될 때마다 상기 판정용 계열의 갱신 처리를 행하고,

상기 갱신 처리는, 갱신 전의 상기 판정용 계열에 대하여, 상기 데이터 수집 단위 시간의 상기 대표 평가값을 추가하는 처리를 포함하는 로봇 고장 전조 검출 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 가동 초기보다 나중에 있어서, 상기 판정부는, 상기 데이터 수집 단위 시간마다, 1개의 상기 대표 평가값만을 상기 판정용 데이터로서 상기 판정용 모델에 입력하여 상기 판정용 모델의 출력을 취득하고, 최근의 복수의 상기 데이터 수집 단위 시간에 걸치는 상기 판정용 모델의 출력의 총승 또는 총합에 기초하여 상기 특이도를 취득하는 로봇 고장 전조 검출 장치.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 판정용 모델은, 상기 초기 계열을 학습시킨 은닉 마르코프모델인 로봇 고장 전조 검출 장치.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 은닉 마르코프모델은, Ergodic 은닉 마르코프모델인 로봇 고장 전조 검출 장치.

청구항 6

제1항 또는 제2항에 있어서,
 상기 판정용 모델은, 상기 초기 계열을 학습시킨 Left-to-Right 은닉 마르코프모델이며,
 상기 초기 계열은, 상기 대표 평가값을 시간 순으로 N개 나열한 계열이며,
 상기 판정용 데이터는, 상기 대표 평가값을 시간 순으로 N개 나열한 판정용 계열인 로봇 고장 전조 검출 장치.

청구항 7

제1항 또는 제2항에 있어서,
 상기 판정용 모델은, 상기 초기 계열을 구성하는 N개의 대표 평가값으로부터 구해진 표준 편차 및 평균값에 기초하는 정규 분포를, Q회분 총승 또는 총합한 것으로 이루어지는 로봇 고장 전조 검출 장치.

청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서,
 상기 평가값은, 상기 거동 시계열 데이터의 제곱 평균 제곱근, 최댓값, 값 폭, 및 주파수 분석 적산값 중 어느 것인 로봇 고장 전조 검출 장치.

청구항 9

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서,
 상기 평가값 계산부는, 상기 거동 시계열 데이터 취득부에 의해 취득된 거동 시계열 데이터의 각각에 대하여, 소정의 기준 거동 시계열 데이터와의 사이의 DTW 거리 및 DTW 거리 평균값 중 어느 것을 상기 평가값으로서 계산하는 로봇 고장 전조 검출 장치.

청구항 10

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서,
 상기 판정용 모델에 입력되는 상기 대표 평가값이 정규화되어 있는 로봇 고장 전조 검출 장치.

청구항 11

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서,
 상기 평가값 계산부는, 상기 거동 시계열 데이터 취득부에 의해 취득된 거동 시계열 데이터의 각각에 대하여, 서로 다른 방법으로 복수 종류의 상기 평가값을 계산하고,
 상기 대표 평가값 생성부는, 상기 데이터 수집 단위 기간마다, 복수 종류의 상기 대표 평가값을 생성하고,
 상기 판정용 모델은, 복수 차원의 계열을 상기 초기 계열로서 입력 가능한 모델인 로봇 고장 전조 검출 장치.

청구항 12

제11항에 있어서,
 상기 복수 종류의 평가값에, 상기 거동 시계열 데이터의 제곱 평균 제곱근, 최댓값, 값 폭, 주파수 분석 적산값, DTW 거리 및 DTW 거리 평균값 중 어느 것이 포함되는 로봇 고장 전조 검출 장치.

청구항 13

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서,
 상기 평가값 계산부는, 상기 거동 시계열 데이터 취득부에 의해 취득된 거동 시계열 데이터의 각각에 대하여, 주파수 해석을 행하여 주파수 스펙트럼을 구하고, 복수의 미리 정한 주파수대에 대하여, 상기 주파수 스펙트럼의 부분적인 총합을 상기 대표 평가값으로서 복수개 구하고,

상기 대표 평가값 생성부는, 상기 데이터 수집 단위 기간마다, 복수의 상기 대표 평가값을 생성하고,
상기 판정용 모델은, 복수 차원의 계열을 상기 초기 계열로서 입력 가능한 모델인 로봇 고장 전조 검출 장치.

청구항 14

제11항 또는 제12항에 있어서,

상기 판정용 모델에 입력되는 복수 종류의 상기 대표 평가값 중, 적어도 어느 것이 정규화되어 있는 로봇 고장 전조 검출 장치.

청구항 15

제1항 내지 제14항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 데이터 수집 단위 기간은, 환경 온도의 변화 주기, 근무 주기, 또는 로봇의 가동 주기의 정수배가 되도록 정해지는 로봇 고장 전조 검출 장치.

청구항 16

제1항 내지 제15항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 판정부가 출력하는 상기 특이도를 표시하는 표시부를 구비하는 로봇 고장 전조 검출 장치.

청구항 17

제1항 내지 제16항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 판정부는, 상기 특이도를 로그 변환한 형태로 출력하는 로봇 고장 전조 검출 장치.

청구항 18

제1항 내지 제17항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 판정부가 출력하는 상기 특이도가 소정의 범위를 벗어났을 경우에, 고장 전조의 경보를 발하는 경보 발생부를 구비하는 로봇 고장 전조 검출 장치.

청구항 19

로봇의 고장 전조를 검출하는 로봇 고장 전조 검출 방법으로서,

로봇 동작으로부터, 상기 로봇의 관절 모터에 관한 거동 시계열 데이터를 취득하는 처리를, 데이터 수집 단위 기간마다 행하는 거동 시계열 데이터 취득 공정과,

상기 거동 시계열 데이터 취득 공정에 의해 취득된 거동 시계열 데이터에 대하여 평가값을 계산하는 평가값 계산 공정과,

상기 데이터 수집 단위 기간마다, 상기 평가값 계산 공정에서 얻어진 상기 평가값으로부터, 상기 평가값을 대표하는 대표 평가값을 생성하는 대표 평가값 생성 공정과,

상기 대표 평가값의 계열을 생성하는 계열 처리 공정과,

상기 로봇의 가동 초기에 있어서, 상기 계열 처리 공정에서 생성된 계열인 초기 계열에 기초하여 판정용 모델을 작성하는 모델 작성 공정과,

상기 가동 초기보다 나중에 있어서, 당해 가동 초기보다 나중의 로봇 동작에 기초하는 데이터를 포함하는 판정용 데이터를, 작성된 상기 판정용 모델에 입력하여, 상기 판정용 데이터의 특이도를 취득하는 판정 공정을 포함하는 로봇 고장 전조 검출 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 출원은, 로봇의 상태 감시에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 산업용 로봇을 공장 등에서 반복적으로 가동시키면, 로봇의 각 부(예를 들어 기계 부품)가 열화되어 가는 것을 피할 수 없다. 상황이 진행되면, 결국 로봇이 고장난다. 로봇이 고장나서 라인이 장기간 정지했을 경우, 큰 손실이 되므로 로봇의 고장 발생 전에 메인テナンス(보전)를 실시하는 것이 강하게 요망되고 있다. 한편, 메인テナンス를 빈번하게 행하는 것도, 메인テナンス 비용 등의 관점에서 곤란하다.

[0003] 적절한 타이밍에 메인テナンス를 행하기 위해서, 로봇의 감속기 등의 잔여 수명을 예측하기 위한 장치가 제안되어 있다. 특허문헌 1은, 이 종류의 로봇 보수 지원 장치를 개시한다.

[0004] 특허문헌 1의 로봇 보수 지원 장치는, 로봇 구동계를 구성하는 서보 모터의 전류 지령값 데이터에 기초하여 전류 지령값의 장래의 변화 경향을 진단하고, 진단된 변화 경향에 기초하여, 전류 지령값이, 미리 설정된 값에 도달할 때까지의 기간을 판정하는 구성으로 되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 일본 특허 공개 제2016-117148 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 상기 특허문헌 1의 구성은, 전류 지령값의 진단 항목으로서, I2 모니터, 듀티, 및 피크 전류를 예시하고 있다. 이러한 항목을 단순하게 사용하면, 로봇의 고장의 전조를 포착하기 위해서 반드시 유효하지 않은 경우도 있었다. 따라서, 로봇이 고장에 근접하고 있다는 것을 정확하게 검지할 수 있는 새로운 구성이 요망되고 있었다.

[0007] 본 출원은 이상의 사정을 감안하여 이루어진 것이며, 그 목적은, 로봇의 고장 전조를 양호하게 포착하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 출원의 해결하고자 하는 과제는 이상과 같으며, 다음에 이 과제를 해결하기 위한 수단과 그 효과를 설명한다.

[0009] 본 출원의 제1 관점에 따르면, 이하의 구성의 로봇 고장 전조 검출 장치가 제공된다. 즉, 이 로봇 고장 전조 검출 장치는, 거동 시계열 데이터 취득부와, 평가값 계산부와, 대표 평가값 생성부와, 계열 처리부와, 판정부를 구비한다. 상기 거동 시계열 데이터 취득부는, 로봇 동작으로부터, 상기 로봇의 관절 모터에 관한 거동 시계열 데이터를 취득하는 처리를, 데이터 수집 단위 기간마다 행한다. 상기 평가값 계산부는, 상기 거동 시계열 데이터 취득부에 의해 취득된 거동 시계열 데이터에 대하여 평가값을 계산한다. 상기 대표 평가값 생성부는, 상기 데이터 수집 단위 기간마다, 상기 평가값 계산부에서 얻어진 상기 평가값으로부터, 상기 평가값을 대표하는 대표 평가값을 생성한다. 상기 계열 처리부는, 상기 대표 평가값의 계열을 생성한다. 상기 판정부는, 로봇의 가동 초기에 있어서, 상기 계열 처리부가 생성한 계열인 초기 계열에 기초하여 판정용 모델을 작성한다. 상기 판정부는, 상기 가동 초기보다 나중에 있어서, 당해 가동 초기보다 나중의 로봇 동작에 기초하는 데이터를 포함하는 판정용 데이터를, 작성된 상기 판정용 모델에 입력하여, 상기 판정용 데이터의 특이도를 취득한다.

[0010] 본 출원의 제2 관점에 따르면, 이하의 로봇 고장 전조 검출 방법이 제공된다. 즉, 이 로봇 고장 전조 검출 방법은, 거동 시계열 데이터 취득 공정과, 평가값 계산 공정과, 대표 평가값 생성 공정과, 계열 처리 공정과, 모델 작성 공정과, 판정 공정을 포함한다. 상기 거동 시계열 데이터 취득 공정에서는, 로봇 동작으로부터, 상기 로봇의 관절 모터에 관한 거동 시계열 데이터를 취득하는 처리를, 데이터 수집 단위 기간마다 행한다. 상기 평가값 계산 공정에서는, 상기 거동 시계열 데이터 취득 공정에 의해 취득된 거동 시계열 데이터에 대하여 평가값을 계산한다. 상기 대표 평가값 생성 공정에서는, 상기 데이터 수집 단위 기간마다, 상기 평가값 계산 공정에

서 얻어진 상기 평가값으로부터, 상기 평가값을 대표하는 대표 평가값을 생성한다. 상기 계열 처리 공정에서는, 상기 대표 평가값의 계열을 생성한다. 상기 모델 작성 공정에서는, 상기 로봇의 가동 초기에 있어서, 상기 계열 처리 공정에서 생성한 계열인 초기 계열에 기초하여 판정용 모델을 작성한다. 상기 판정 공정에서는, 상기 가동 초기보다 나중에 있어서, 당해 가동 초기보다 나중의 로봇 동작에 기초하는 데이터를 포함하는 판정용 데이터를, 작성된 상기 판정용 모델에 입력하여, 상기 판정용 데이터의 특이도를 취득한다.

[0011] 이에 따라, 로봇의 고장 전조를 용이하게 포착할 수 있다. 따라서, 로봇의 메인テナンス를 고장 전에 행하는 것이 가능해진다.

발명의 효과

[0012] 본 출원에 따르면, 로봇의 고장 전조를 양호하게 포착할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0013] 도 1은 본 출원에 관한 로봇의 구성을 나타내는 사시도.
- 도 2는 제1 실시 형태의 로봇 고장 전조 검출 장치의 전기적 구성을 개략적으로 나타내는 블록도.
- 도 3은 시계열 데이터의 취득에 관한 트리거 신호의 타이밍을 설명하는 그래프.
- 도 4는 은닉 마르코프모델을 나타내는 개념도.
- 도 5는 상태 수가 2개인 Ergodic 은닉 마르코프모델을 나타내는 개념도.
- 도 6은 초기 계열 및 판정용 계열을 설명하는 모식도.
- 도 7은 전류값의 제공 평균 제공근을 나타내는 그래프.
- 도 8은 전류값의 제공 평균 제공근 계열 유사도에 관한 로그 가능도를 나타내는 그래프.
- 도 9는 제2 실시 형태의 로봇 고장 전조 검출 장치의 전기적 구성을 개략적으로 나타내는 블록도.
- 도 10은 제3 실시 형태에서 사용되는 DTW법을 나타내는 개념도.
- 도 11은 DTW로 처리된 데이터를 은닉 마르코프모델에 입력하여 평가된 로그 가능도를 나타내는 그래프.
- 도 12는 제4 실시 형태의 로봇 고장 전조 검출 장치의 전기적 구성을 개략적으로 나타내는 블록도.
- 도 13은 제4 실시 형태에 있어서의 초기 계열 및 판정용 데이터를 설명하는 모식도.
- 도 14는 제5 실시 형태의 로봇 고장 전조 검출 장치의 전기적 구성을 개략적으로 나타내는 블록도.
- 도 15는 제6 실시 형태의 로봇 고장 전조 검출 장치의 전기적 구성을 개략적으로 나타내는 블록도.
- 도 16은 판정용 모델을 사용하지 않고 고장 시기를 예측하는 예에 있어서의 표시부에 표시되는 경향 관리 화면의 표시예.
- 도 17은 판정용 모델을 사용하지 않고 고장 시기를 예측하는 예에 있어서 참조 일수를 변화시켰을 경우의 예측 선 변화를 나타내는 그래프.
- 도 18은 주파수 분석 부분 적산값을 산출하기 위한 주파수 대역을 나타내는 그래프.
- 도 19는 주파수 분석 부분 적산값을 설정 가능한 예에 있어서의 표시부에 표시되는 경향 관리 화면의 표시예.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0014] 이어서, 도면을 참조하여 본 출원의 실시 형태를 설명한다. 도 1은, 본 출원의 일 실시 형태에 따른 로봇(1)의 구성을 나타내는 사시도이다. 도 2는, 로봇(1) 및 로봇 고장 전조 검출 장치(5)의 전기적 구성을 개략적으로 나타내는 블록도이다.

[0015] 본 출원에 관한 로봇 고장 전조 검출 장치(5)는, 미리 결정된 동작을 재생 가능한 산업용 로봇의 상태를 감시하기 위해서 사용할 수 있다. 로봇 고장 전조 검출 장치(5)는, 예를 들어 도 1에 나타내는 바와 같은 로봇(1)에 적용된다. 로봇(1)은, 작업 대상의 워크에 대하여 도장, 세정, 용접, 반송 등의 작업을 행한다. 로봇(1)은,

예를 들어 수직 다관절 로봇에 의해 실현된다.

- [0016] 이하, 로봇(1)의 구성에 대하여, 도 1 및 도 2 등을 참조하면서 간단히 설명한다.
- [0017] 로봇(1)은, 베이스 부재(10)와, 다관절 암(11)과, 손목부(12)를 구비한다. 베이스 부재(10)는, 지면(예를 들어 공장의 바닥면)에 고정된다. 다관절 암(11)은, 복수의 관절을 갖는다. 손목부(12)는, 다관절 암(11)의 선단에 설치된다. 손목부(12)에는, 작업 대상의 워크에 대하여 작업을 행하는 엔드 이펙터(13)가 설치된다.
- [0018] 도 2에 나타내는 바와 같이, 로봇(1)은, 암 구동 장치(21)를 구비한다.
- [0019] 이러한 구동 장치는, 액츄에이터 및 감속기 등으로 구성된다. 액츄에이터는, 예를 들어 서보 모터로서 구성된다. 그러나, 구동 장치의 구성은 상기로 한정되지 않는다. 각각의 액츄에이터는, 컨트롤러(90)에 전기적으로 접속된다. 액츄에이터는, 컨트롤러(90)로부터 입력된 지령값을 반영하도록 동작한다.
- [0020] 암 구동 장치(21)를 구성하는 각각의 서보 모터로부터의 구동력이, 감속기를 통하여, 다관절 암(11)의 각 관절과, 베이스 부재(10)와, 손목부(12)로 전달된다. 각각의 서보 모터에는, 그 회전 위치를 검출하는 도시를 생략한 엔코더가 설치되어 있다.
- [0021] 로봇(1)은, 교시에 의해 기록된 동작을 재생함으로써 작업을 행한다. 컨트롤러(90)는, 교시자가 사전에 교시한 일련의 동작을 로봇(1)이 재현하도록, 상기 액츄에이터를 제어한다. 로봇(1)에게의 교시는, 도시를 생략한 교시 패턴트를 교시자가 조작함으로써 행할 수 있다. 로봇(1)에게의 교시에 의해, 로봇(1)을 움직이기 위한 프로그램이 생성된다.
- [0022] 컨트롤러(90)는, 예를 들어 CPU, ROM, RAM, 보조 기억 장치 등을 구비하는 공지된 컴퓨터로서 구성되어 있다. 보조 기억 장치는, 예를 들어 HDD, SSD 등으로서 구성된다. 보조 기억 장치에는, 로봇(1)을 움직이는 프로그램 등이 기억되어 있다.
- [0023] 로봇 고장 전조 검출 장치(5)는, 도 1에 나타내는 바와 같이, 컨트롤러(90)에 접속된다. 로봇 고장 전조 검출 장치(5)는, 액츄에이터(서보 모터)에 흐르는 전류의 전류값 등의 추이를, 컨트롤러(90)를 통하여 취득한다.
- [0024] 서보 모터, 및 여기에 연결되는 감속기 등에 만일 이상이 생기면, 서보 모터의 전류값은, 그 영향을 받아서 변동된다고 생각된다. 따라서, 이 전류값은, 로봇(1)의 상태를 반영하고 있다고 할 수 있다. 전류값의 추이는, 당해 전류값을 짧은 시간 간격으로 반복하여 취득하고, 다수의 전류값을 시계열로 나열함으로써 표현할 수 있다. 이하, 전류값을 시계열로 나열한 데이터를, 전류값 시계열 데이터(거동 시계열 데이터)라고 부르는 경우가 있다.
- [0025] 로봇 고장 전조 검출 장치(5)는, 취득한 전류값 시계열 데이터를 감시함으로써 로봇(1)의 이상 유무를 판정할 수 있다. 본 실시 형태에서는, 로봇 고장 전조 검출 장치(5)는, 각각의 관절의 서보 모터 및 감속기를 주로 대상으로 하여, 이상의 유무를 판정한다. 여기에서, "이상"이란, 동작 불량/불능까지 이르지 않지만, 그 전조가 되는 어떠한 상황이 서보 모터, 감속기 또는 베어링에 생겼을 경우를 포함한다.
- [0026] 로봇 고장 전조 검출 장치(5)는, 도 2에 나타내는 바와 같이, 기억부(50)와, 전류값 시계열 데이터 취득부(거동 시계열 데이터 취득부)(51)와, 평가값 계산부(52)와, 대표 평가값 생성부(53)와, 계열 처리부(54)와, 판정부(55)와, 경보 발생부(62)와, 표시부(63)를 구비한다.
- [0027] 로봇 고장 전조 검출 장치(5)는, CPU, ROM, RAM, 보조 기억 장치 등을 구비하는 공지된 컴퓨터로서 구성되어 있다. 보조 기억 장치는, 예를 들어 HDD, SSD 등으로서 구성된다. 보조 기억 장치에는, 로봇(1)의 상태 평가 등을 위한 프로그램 등이 기억되어 있다. 이러한 하드웨어 및 소프트웨어의 협동에 의해, 컴퓨터를, 기억부(50), 전류값 시계열 데이터 취득부(51), 평가값 계산부(52), 대표 평가값 생성부(53), 계열 처리부(54), 판정부(55), 경보 발생부(62), 표시부(63) 등으로서 동작시킬 수 있다.
- [0028] 전류값 시계열 데이터 취득부(51)는, 상술한 전류값 시계열 데이터를 취득한다. 전류값 시계열 데이터 취득부(51)는, 로봇(1)의 암 구동 장치(21)가 구비하는 모든 서보 모터를 대상으로 하여 전류값 시계열 데이터를 취득한다. 전류값 시계열 데이터는, 로봇(1)의 각부에 배치되는 복수의 서보 모터(바뀌 말하면, 복수의 감속기)의 각각에 대하여 개별적으로 취득된다.
- [0029] 여기에서, 전류값이란, 서보 모터에 흐르는 전류의 크기를 센서에 의해 측정된 측정값을 의미한다. 센서로부터의 신호는, 도시하지 않는 A/D 컨버터에 의해 디지털화된다. 센서는, 서보 모터를 제어하는 도시를 생략한 서보 드라이버에 마련되어 있다. 단, 센서가, 서보 드라이버와는 달리 감시용으로 마련되어도 된다. 이것 대신

에, 서보 드라이버가 서보 모터에 부여하는 전류 지령값이 채용되어도 된다. 서보 드라이버는, 현재의 전류값을 전류 지령값에 가깝게 하도록 서보 모터를 피드백 제어한다. 따라서, 서보 모터 또는 감속기의 이상을 검출할 목적으로 보면, 전류값과 전류 지령값은 거의 차이가 없다.

- [0030] 서보 모터의 토크 크기는, 전류의 크기에 비례한다. 따라서, 전류값 대신에, 토크값 또는 토크 지령값이 사용되어도 된다. 또한, 서보 모터의 회전 위치에 관한 목표값과, 상기 엔코더에 의해 얻어지는 실제의 회전 위치의 편차(회전 위치 편차)가 사용되어도 된다. 통상, 서보 드라이버는, 이 편차에 계인을 곱한 것을 전류 지령값으로 하여 서보 모터에 부여한다. 따라서, 회전 위치의 편차의 추이는 전류 지령값의 추이를 닮은 경향을 나타낸다.
- [0031] 본 실시 형태에서는, 전류값 시계열 데이터를 고장 전조의 검지를 위하여 사용하고 있다. 그러나, 전류값 대신에, 전류 지령값, 토크값, 토크 지령값, 또는 회전 위치 편차의 시계열 데이터가 사용되어도 된다.
- [0032] 전류값 시계열 데이터 취득부(51)는, 교시된 동작을 로봇(1)이 행할 때, 각각의 서보 모터에 대해서 전류값 시계열 데이터를 취득한다.
- [0033] 예로서, 로봇(1)에 대하여 1개의 동작이 교시된 후, 공장에서 매일, 예를 들어 9시부터 17시까지 가동할 경우를 생각한다. 전류값 시계열 데이터 취득부(51)는, 교시된 동작을 로봇(1)이 행할 때마다, 각각의 서보 모터에 대해서 전류값 시계열 데이터를 취득한다. 로봇(1)은 동일한 동작을 반복하므로, 다수의 전류값 시계열 데이터가 1일마다 얻어진다.
- [0034] 로봇 고장 전조 검출 장치(5)의 사용이 개시되고부터의 기간은, 1일째부터 N일째까지와, N+1일째 이후로 나눌 수 있다. 이하, 1일째 내지 N일째까지의 기간을 초기 가동 기간이라고 하고, N+1일째 이후를 감시 기간이라고 하는 경우가 있다. N은 적절히 정할 수 있으며, 예를 들어 N=30으로 할 수 있다. 상술한 전류값 시계열 데이터의 취득은, 초기 가동 기간 및 감시 기간 중 어느 것이어도 매일 행해진다.
- [0035] 로봇을 설치하여 사용을 개시하는 것과 동시에 초기 가동 기간을 개시시켜도 되지만, 예를 들어 1개월 동안은 적응 운전 기간이라고 생각하고, 초기 가동 기간을, 적응 운전 기간 후에 개시시켜도 된다. 초기 가동 기간 후, 적당한 인터벌 기간(예를 들어 2개월)이 경과하고 나서 감시 기간을 개시시켜도 된다.
- [0036] 로봇(1)이 1회의 동작을 행할 때마다, 서보 모터의 수만큼 전류값 시계열 데이터가 얻어진다. 전류값 시계열 데이터 취득부(51)가 전류값의 시계열 데이터의 취득을 개시하는 타이밍, 및 종료하는 타이밍은, 컨트롤러(90)가 출력하는 신호에 기초하여 적절히 결정할 수 있다.
- [0037] 도 3의 그래프는, 로봇(1)이 재생 동작을 행하는 경우에, 어떤 관절의 서보 모터에 흐르는 전류값의 일례를 나타내고 있다. 도 3에 나타내는 바와 같이, 재생 동작의 프로그램이 실행되기 전의 상태에서는, 서보 모터의 전류값은 제로이다. 이 때, 각 관절에 있어서 도시하지 않는 전자 브레이크가 동작하고 있기 때문에, 다관절 암(11) 등의 자세는 유지된다.
- [0038] 계속해서, 로봇(1)의 재생 동작 프로그램이 개시된다. 이에 따라 브레이크가 개방되고, 이것과 거의 동시에 서보 모터에 전류가 흐르기 시작한다. 이 시점에서는, 서보 모터의 출력 축은 정지하도록 제어된다. 서보 모터의 출력 축의 각도가 안정되는데 필요한 어느 정도의 시간이 경과한 후, 서보 모터의 회전이 개시된다. 이에 따라, 로봇(1)의 동작이 실질적으로 개시된다.
- [0039] 컨트롤러(90)는, 브레이크가 개방된 후, 서보 모터의 회전이 개시되기 조금 전의 시점에서, 취득 개시 신호를 로봇 고장 전조 검출 장치(5)(나아가서는, 전류값 시계열 데이터 취득부(51))로 출력한다.
- [0040] 로봇(1)에게 교시한 일련의 동작이 모두 완료되면, 서보 모터는 회전을 정지하도록 제어된다. 컨트롤러(90)는, 서보 모터가 회전 정지 상태가 된 후, 프로그램이 종료되기 전의 시점에서, 취득 종료 신호를 전류값 시계열 데이터 취득부(51)로 출력한다.
- [0041] 기억부(50)는, 예를 들어 상술한 보조 기억장치로 구성된다. 기억부(50)는, 로봇 고장 전조 검출 프로그램, 전류값 시계열 데이터 취득부(51)에 의해 취득된 전류값 시계열 데이터 등을 기억한다. 로봇 고장 전조 검출 프로그램에 의해, 본 실시 형태의 로봇 고장 전조 검출 방법이 실현된다.
- [0042] 본 실시 형태에서, 시계열 데이터는, 짧은 일정한 시간 간격으로 반복 검출함으로써 얻어진 다수의 전류값을 시간 순으로 나열한 것이다. 전류값을 검출하는 시간 간격(샘플링 간격)은 예를 들어 수 밀리초이다. 시계열 데이터는, 도 3의 그래프에 있어서, 취득 개시 신호의 타이밍에서 취득 종료 신호의 타이밍까지의 전류값의 추이

에 대응한다.

- [0043] 기억부(50)에는, 데이터의 취득 시기를 나타내는 시기 정보가, 당해 시계열 데이터와 관련지어서 기억된다.
- [0044] 상술한 바와 같이, 전류값 시계열 데이터 취득부(51)에 의해 취득된 전류값 시계열 데이터는, 로봇(1)의 초기 가동 기간에 수집된 데이터와, 감시 기간에 수집된 데이터로 나눌 수 있다. 초기 가동 기간에 얻어진 전류값 시계열 데이터는, 후술하는 판정용 모델을 구축하기 위한 학습 데이터를 작성하기 위하여 사용된다. 감시 기간에 수집된 전류값 시계열 데이터는, 판정용 모델에 입력되는 판정용 데이터를 작성하기 위하여 사용된다.
- [0045] 노이즈 등을 제거하기 위하여, 전류값 시계열 데이터에 대하여 적당한 필터 처리가 행해져도 된다. 데이터에 대한 필터 처리는 공지되어 있기 때문에 상세한 설명을 생략한다.
- [0046] 평가값 계산부(52)는, 전류값 시계열 데이터 취득부(51)에 의해 취득된 전류값 시계열 데이터의 각각을 소정의 함수로 입력하여, 평가값을 계산한다. 이 함수는, 전류값 시계열 데이터가 갖는 어떠한 특징을 추출하는 것이다. 원래의 전류값 시계열 데이터는 복수의 스칼라량(전류값)으로 이루어지는데 반하여, 평가값은 1개의 스칼라량이다. 따라서, 평가값 계산부(52)가 행하는 처리는 정보의 압축에 대응한다.
- [0047] 평가값 계산부(52)가 사용하는 함수는 임의이지만, 예를 들어 제곱 평균 제곱근, 최댓값, 값 폭(최댓값-최솟값), 주파수 분석 적산값을 사용할 수 있다.
- [0048] 알려진 바와 같이, 감속기의 톱니의 마모 등에 의해 효율이 저하되었을 경우, 서보 모터의 마그넷 감자에 의해 토크 상수가 저하되었을 경우 등에, 전류값의 제곱 평균 제곱근에 변화가 발생한다. 따라서, 고장 전조의 유무를 판정하기 위해서 제곱 평균 제곱근을 사용하는 것이 적합한 경우가 있다.
- [0049] 또한, 베어링 등에 손상이 발생했을 경우, 전류값의 추이에 때때로 수염 형상의 피크가 나타나는 경향이 있다. 따라서, 고장 전조의 유무를 판정하기 위해서 최댓값 또는 값 폭을 사용하는 것이 적합한 경우가 있다.
- [0050] 주파수 분석 적산값은, 주파수 해석의 한 방법으로서 제안된다. 주파수 해석을 행함으로써, 진폭 스펙트럼, 파워 스펙트럼, 또는 파워 스펙트럼 밀도가 얻어진다. 이하에서는, 진폭 스펙트럼, 파워 스펙트럼, 또는 파워 스펙트럼 밀도를 주파수 스펙트럼 또는 단순히 스펙트럼이라고 하는 경우가 있다. 주파수 분석 적산값은, 예를 들어 주파수 해석에 의해 얻어진 수십 Hz까지의 진폭 스펙트럼, 파워 스펙트럼, 또는 파워 스펙트럼 밀도의 합계값이다. 합계값 대신에 평균값을 사용하여 주파수 분석 적산값을 구해도 된다. 진폭 스펙트럼 및 파워 스펙트럼은 후술하는 공지된 방법으로 구해진다. 로봇에 진동 경향이 생기는 등, 고장 전조의 유무를 판정하기 위하여 주파수 분석 적산값을 사용하는 것이 적합한 경우가 있다. 진동 경향의 원인은 여러 가지를 생각할 수 있지만, 예를 들어 감속기의 마모가 진행되어, 로스트 모션이 증가한 것을 들 수 있다.
- [0051] 로봇(1)의 계의 고유 진동수가 만일 8Hz라면, 8Hz의 성분이 공진에 의해 커지는데, 상기의 주파수 분석 적산값의 예에서는 8Hz의 피크를 검출하는 것에 그치지 않는다. 수십 Hz까지의 진폭 스펙트럼, 파워 스펙트럼, 또는 파워 스펙트럼 밀도의 합계값이 평가된다. 시간의 경과에 따라, 본래의 주모드의 진동에 더하여, 여러 가지 부품의 열화에 수반하는 진동이 가해지는 경우가 많다. 폭넓은 주파수를 관찰함으로써 고장 전조의 검출 범위를 넓힐 수 있다.
- [0052] 이하, 주파수 분석 적산값에 관하여 더욱 상세하게 설명한다. 평가값 계산부(52)는, 전류값 시계열 데이터에 대하여 FFT(Fast Fourier Transform, 고속 푸리에 변환)를 행함으로써, 푸리에 스펙트럼(복소수)을 구한다. 푸리에 스펙트럼을 제곱한 값이 파워 스펙트럼이다. 파워 스펙트럼으로 변환함으로써 위상 정보가 상실된다. 또한, 파워 스펙트럼의 제곱근을 취한 값이 진폭 스펙트럼이다. 진폭 스펙트럼에는, 실효값과 피크값이 있는데, 어떤 값도 고장 전조의 유무를 판정하기 위하여 사용할 수 있다. 또한, 파워 스펙트럼 밀도 함수는, PSD 함수(Power Spectral Density Function)라고도 한다. 파워 스펙트럼 밀도 함수는, FFT의 주파수 분해능에 의존하지 않도록 단위 주파수 폭(1Hz 폭)당의 파워값을 표현하는 스펙트럼 함수이다.
- [0053] FFT로 검출할 수 있는 상한의 주파수는, 샘플링 주파수의 절반의 주파수이다. 샘플링 주파수의 절반의 주파수를 나이퀴스트 주파수라고 한다. 본 실시 형태에서는, 로봇(1)의 제어 주기와 로봇 고장 전조 검출 장치(5)의 제어 주기 중 긴 쪽의 제어 주기의 역수가 샘플링 주파수에 대응한다. 예를 들어 긴 쪽의 제어 주기가 4ms이었을 경우, $1/0.004/2=125$ 이기 때문에, 나이퀴스트 주파수는 125Hz이다. 본 실시 형태에서 행하는 FFT에서는, 나이퀴스트 주파수 이하의 값을 대상으로 한다. 단, FFT를 실행하는 기기의 하드웨어 구성 또는 소프트웨어의 알고리즘에 따라서는, 엘리머싱 왜곡을 저감 혹은 배제하기 위해서, 여유 계수를 곱한 값을 상한으로 하여 사용하는 것이 바람직하다. 즉, 나이퀴스트 주파수를 f_9 , 여유 계수를 k 라고 기술했을 경우, FFT의 상한값을 $k \times f_9$ 라

고 나타낼 수도 있다. k 는 예를 들어 75% 내지 100%의 범위의 값이다.

[0054] 본 실시 형태와 같이, 로봇(1)의 거동을 액추에이터의 전류값 또는 전류 지령값으로부터 예측해서 FFT를 행하는 경우에는, 상기 나이퀴스트 주파수 등에 기초하는 상한값이 존재한다. 또한, FFT를 실행하는 소프트웨어는, 나이퀴스트 주파수를 초과하지 않도록 규제하고 있어도 된다.

[0055] 한편, 로봇(1)은, 통상적으로는 10Hz 전후의 고유 진동수를 갖는다. 통상적으로는 1차의 고유 진동수가 10Hz라면, 3차 또는 4차의 고차 성분까지는, 어느 정도의 강도의 신호를 검출할 수 있다. 그 때문에, 고유 진동수를 f_0 으로 하고, 예를 들어 4차의 신호까지 사용하는 경우에는, $4.5 \times f_0 = 45\text{Hz}$ 를 상한으로 하면 된다. 이에 따라, 4차의 신호는 취득하고, 5차의 신호는 취득하지 않게 되므로, 보다 정확하게 진동 성분을 파악할 수 있다.

[0056] 또한, 상기의 고유 진동수와는 달리, 고장에 의해 발생하는 진동이 있다. 예를 들어 모터 베어링의 손상, 입력 축 기어와 공전 기어 톱니의 손상, 및 편심축 베어링의 손상 등에 의해, 고유 진동수와는 다른 진동이 발생할 수 있다. 이 중에서 주파수가 비교적 높은 것이 모터 베어링의 손상이며, 일례로서 25Hz 전후의 진동이 발생할 가능성이 있다. 또한, 손상이 베어링의 내륜, 외륜, 전동체 중 어느 것에서 발생했는지와, 모터의 회전수에 의해서도 진동수의 값이 변화된다. 이상을 종합적으로 고려하면, 예를 들어 50Hz 정도를 상한으로 하는 것이 바람직하다. 또한, 나이퀴스트 주파수를 상한으로 해도 된다.

[0057] 또한, 주된 고유 진동을 중시하는 경우에는, 0Hz부터 차례로 스펙트럼을 서치하고, 최초의 피크값을 1차의 고유 진동수 f_0 으로 하고, 그 4.5배인 $4.5 \times f_0$ 까지 집계해도 된다. 이 경우에는, 서치하는 기준이 되는 주파수를 초기 주파수로서 등록해 두고, 초기 주파수의 예를 들어 0.5배 내지 1.5배까지를 서치해도 된다. 주파수에 관한 특성이 안정되어 있을 경우에는, 0.2배 내지 1.8배까지의 서치를 행해도 된다. 이 여유를 Δf_1 , Δf_2 라고 기술하고, 서치의 고유 진동수의 초기 주파수를 f_{01} 이라고 기술했을 경우, $f_{01} - \Delta f_1$ 내지 $f_{01} + \Delta f_2$ 까지를 서치하게 된다.

[0058] 본 실시 형태와 같이 다관절형의 로봇(1)은, 베이스 부재(10)에 대하여 다관절 암(11)의 전체를, 예를 들어 연직 방향을 회전 중심으로 하여 선회시킬 수 있다. 이 선회의 축을 선회 축 JT1이라고 한다. 선회 축 JT1에서는 다관절 암(11)의 자세에 따라, 축 둘레의 관성이 크게 변화된다. 그 결과, 고유 진동수 f_0 은 10Hz 내지 20Hz의 사이에서 변화되는 경우가 있다. 이러한 축인 경우에는 상기와 같은 1차의 고유 진동수 f_0 의 서치를 할 수 없는 경우가 있다. 이 경우에는 "간주" 고유 진동수 f_{02} 를 예를 들어 12Hz라고 등록해 두고, 그 4.5배까지 집계할 수 있다. 이상에 따라, 적산 주파수의 상한값과 하한값은 이하와 같이 통합할 수 있다. 또한, 이하에서 설명하는 상한값과 하한값은 모든 조합에서 사용해도 된다.

[0059] 상한값으로서는, 예를 들어 이하의 값을 사용할 수 있다.

[0060] (1) 고정값

[0061] (2) 1차의 고유 진동수의 $(n+0.5)$ 배

[0062] (3) 간주 주파수의 $(n+0.5)$ 배

[0063] 고정값은 예를 들어 50Hz이어도 된다. 단, 고정값은 나이퀴스트 주파수 이하로 할 필요가 있다. 또한, 고정값은 나이퀴스트 주파수이어도 되고, 나이퀴스트 주파수에 여유 계수를 곱한 값이어도 된다. n 은, 예를 들어 4인데, 수치는 임의이며, 예를 들어 1, 2, 3이어도 된다. 또한, 0.5 대신에, 0 이상 1 미만의 다른 수치를 적용할 수 있다.

[0064] 하한값으로서는, 예를 들어 이하의 값을 사용할 수 있다.

[0065] (1) 고정값

[0066] (2) 0

[0067] (3) 고유 진동수의 α 배

[0068] 여기에서, 고정값은 예를 들어 6Hz이어도 된다. 또한, 0은 직류 성분이라고도 칭해지고 있고, 진동을 수반하지 않는 양이며, 로봇(1)의 각 축의 부하 토크에 대응한다. 그 때문에, 부하 토크를 포함시켜 평가할 경우에는 하한값으로서 0을 사용하고, 진동 성분만을 평가할 경우에는 하한값으로서 고유 진동수의 α 배를 사용할 수 있다. α 는 예를 들어 0.5인데, α 는 0.2 내지 0.8의 임의의 값이어도 된다. 또한, 고유 진동수 부근만을 평가할 경우에는, 하한의 α 는 0.5 등으로 하여 상한은 고유 진동수의 1.5배 등이어도 된다.

- [0069] 상술한 바와 같이, 함수가 다르면, 검출하기 쉬운 고장 전조가 다르다. 후술하는 판정용 모델에는 함수의 출력 값이 실질적으로 입력되어 기계 학습 등이 행해지므로, 판정용 모델도 함수의 성질을 이어받게 된다. 따라서, 복수의 다른 함수에서 얻어진 평가값의 각각에 관하여 판정용 모델의 학습 및 평가를 행해도 된다.
- [0070] 상술한 예에서는, 주파수 분석 적산값을 하나의 함수로 하여 평가값으로서 이용하기로 하였다. 이에 비하여, 이하에 나타내는 예에서는, 주파수 분석 적산값을 복수의 주파수 대역으로 나누고, 각각의 범위에서 합계값을 구한다. 주파수 분석 적산값과 구별하기 위하여, 주파수 대역마다의 주파수 스펙트럼 적산값을 "주파수 분석 부분 적산값"이라고 부른다. 생략하여 "부분 적산값"이라고 하는 경우도 있다. 합계값 대신에 평균값을 사용하여 주파수 분석 부분 적산값을 구해도 된다.
- [0071] 도 18을 참조하여 부분 적산값을 설명한다. 도 18의 세로 축은 스펙트럼의 진폭, 가로 축은 주파수이다. 이 예에서는 주파수의 하한을 0Hz로 하고 상한을 50Hz로 한다. 또한, 0Hz 내지 50Hz를 분할하기 위한 값으로서, 10, 20, 30, 40을 설정한다. 이러한 값을 사용하여 스펙트럼을 분할함으로써, 이하의 주파수 대역이 얻어진다.
- [0072] 주파수 대역; 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50
- [0073] 각각의 주파수 대역에는, 양단 주파수(주파수 대역을 결정하기 위한 하한과 상한의 주파수)는 포함되지 않아도 되고, 포함되어도 된다. 또한, 양단 주파수가, 인접하는 2개의 주파수 대역에 포함되어도 된다.
- [0074] 여기에서, 도 18에 굵은 프레임으로 나타내는 10-20의 주파수 대역과, 그것보다 작은 0-10의 주파수 대역을 예로 들어 로봇(1)에게서 발생하는 진동을 설명한다. 예를 들어 0-10의 주파수 대역에는, 로봇 암계의 고유 진동수인 약 8Hz의 스펙트럼이 포함된다. 그 밖에 4, 2, 1Hz에도 커다란 진폭이 존재하는데, 이러한 주파수는 로봇이 움직이는 궤적의 주파수 성분이 대부분이다. 이러한 궤적의 주파수 성분은, 움직임을 정하는 로봇 프로그램이 동일한 경우에는 대부분 변화되지 않는다. 10-20의 주파수 대역에서는 약 16Hz의 고유 진동수의 2차 고주파가 포함된다. 10-20의 주파수 대역에서는, 고유 진동수의 고주파 이외의 성분도 포함된다.
- [0075] 고유 진동수를 결정하는 감속기의 스프링 상수의 변화나 로스트 모션량의 증가에 기인하여, 고유 진동수나 그 고주파의 스펙트럼이 커지는 경우가 있다. 또한, 반대로 고유 진동수나 그 고주파 이외의 스펙트럼이 다른 부품(모터 축 등에 설치되는 베어링 등의 부품)의 열화에 의해, 고유 진동수나 그 고주파의 스펙트럼이 증가하는 경우도 있다. 또한, 어떤 원인의 경우이든 진폭의 변화(통상 증가)뿐만 아니라 그 주파수가 바뀌는 경우도 많다. 열화의 결과, 고유 진동수가 낮아지는 경우가 있고, 그 주파수가 분할한 주파수 대역의 근처에 있을 경우에는 낮은 주파수의 주파수 대역으로 이동하는 경우도 있다. 20Hz를 초과하는 대역에서도 고유 진동수의 고주파는 있지만 그 강도는 감소해 나가, 그 밖의 진동 성분의 비율이 증가한다.
- [0076] 이상으로 설명한 바와 같이, 복수로 분할됨으로써 얻어진 부분 적산값은, 후술한 판정용 모델에 이용할 수 있다. 또한, 부분 적산값은, 복수의 경향 관리 장치를 동시 진행시키는, 수명 예측이나 고장 전조 판정 시스템에 이용할 수 있다.
- [0077] 또한, 도 18과 같이 분할이 연속이 아니고, 예를 들어 0-10, 20-30, 40-50과 같이, 주파수 대역끼리의 간격이 비어 있어도 된다. 혹은, 0-10, 0-20, 0-30과 같이, 주파수 대역끼리가 겹쳐도 된다. 부분 적산값은 경향 관리를 위하여 사용하기 때문에, 부분 적산값 그 자체에 의미는 없고, 부분 적산값의 변화를 평가한다. 그 때문에, 모든 주파수를 빠짐없이 또한 중첩 없이 포함시킬 필요는 없고, 경향 관리를 하기 쉬운 주파수 대역을 선택해도 된다. 물론, 도 18에 나타내는 바와 같이, 모두의 주파수를 빠짐없이 또한 중첩 없이 포함시켜도 된다.
- [0078] 대표 평가값 생성부(53)는, 평가값 계산부(52)에 의해 얻어진 복수의 평가값으로부터 대표 평가값을 구한다. 상술한 바와 같이 1개의 평가값은 전류값 시계열 데이터의 정보를 압축한 것에 대응하는데, 대표 평가값은, 복수의 평가값을 더욱 압축한 정보라고 생각할 수 있다.
- [0079] 예를 들어 로봇(1)이 어느 날의 9시부터 17시까지 가동하는 경우를 생각한다. 그 기간, 로봇(1)은 동일한 동작을 다수회 반복한다. 따라서, 전류값 시계열 데이터 취득부(51)에 있어서 다수의 시계열 전류값 데이터가 얻어지고, 평가값 계산부(52)에 있어서, 각각의 시계열 전류값 데이터의 평가값이 얻어진다. 대표 평가값 생성부(53)는, 다수의 평가값으로부터, 그 날을 대표하는 1개의 평가값을 대표 평가값으로서 생성한다.
- [0080] 예를 들어 9시부터 17시까지의 동안에, 공장 내의 실온이 외기온의 영향으로 변화되는 경우가 있다. 혹은, 로봇(1)의 관절에 부가되어 있는 그리스는, 가동 개시 당초는 저온이지만, 가동 개시로부터 시간이 경과함에 따라 온도가 상승하여, 결과적으로 점도가 저하된다. 이러한 영향을 억제하기 위하여, 대표 평가값 생성부(53)는, 9시부터 17시까지 얻어진 다수의 평가값으로부터 중앙값을 선택하고, 이것을 대표 평가값으로 하는 것을 생각할

수 있다. 대표 평가값 생성부(53)가 생성한 대표 평가값은, 기억부(50)에 기억된다.

- [0081] 대표 평가값은, 중앙값으로 한정되지 않고, 예를 들어 평균값으로 할 수도 있다.
- [0082] 이하에서는, 1개의 대표 평가값에 의해 대표되는 복수의 평가값이 속하는 시간적인 범위를, 데이터 수집 단위 기간이라고 한다. 상기의 예에서는, 1개의 대표 평가값이 1일분의 전류값 시계열 데이터를 대표하고 있으므로, 데이터 수집 단위 기간은 1일이다.
- [0083] 예를 들어 공장에 있어서, 1일에 복수회(예를 들어 2교대제)의 시프트가 정해지는 경우가 있다. 시프트의 1회분은, 1회분의 근무 주기 또는 1회분의 로봇(1)의 가동 주기라고 바꿔 말할 수도 있다. 이 경우, 데이터 수집 단위 기간은, 시프트 1회분이라고 해도 되지만, 2회의 시프트를 포함시킨 1일분이라고 하는 것이 바람직하다. 주야를 포함하는 1일을 데이터 수집 단위 기간으로 함으로써 외기온의 변동 주기의 영향으로 고장 전조의 검출 정밀도가 저하되는 것을 방지할 수 있다. 데이터 수집 단위 기간은, 복수일(예를 들어 2일, 3일, 혹은 1주일 등)로 해도 된다.
- [0084] 계열 처리부(54)는, 기억부(50)에 기억되어 있는 복수의 대표 평가값을 나열함으로써, 계열을 생성한다. 계열 처리부(54)가 생성한 대표 평가값의 계열은, 판정부(55)에 입력된다.
- [0085] 판정부(55)는, 대표 평가값 생성부(53)에서 생성된 대표 평가값을 사용하여, 로봇(1)의 고장 전조의 유무를 판정한다. 판정부(55)는, 학습부(57)와, 확률 출력부(58)와, 변환부(61)를 구비한다.
- [0086] 상술한 바와 같이 대표 평가값을 평가값 대신에 이용함으로써 예를 들어 1일 동안의 온도 변화의 영향을 배제할 수 있다. 결과적으로 평가값을 압축하는 효과가 생기는 경우가 있다. 한편, 평가 방법이 경향 관리이거나, 평가값이 어떠한 수법으로 온도 보상되어 있는 경우에는 대표 평가값으로 하지 않고, 취득한 모든 평가값을 평가 해도 된다.
- [0087] 학습부(57)는, 로봇(1)의 초기 가동 기간에 있어서, N회분의 데이터 단위 기간에 생성된 N개의 대표 평가값을 학습함으로써, 기계 학습 모델인 판정용 모델을 작성한다.
- [0088] 본 실시 형태의 판정부(55)에서는, 판정용 모델로서 은닉 마르코프모델이 사용되고 있다.
- [0089] 여기에서, 은닉 마르코프모델에 대하여 간단히 설명한다. 은닉 마르코프모델은, 계열적인 데이터에 대한 통계적 모델링을 실현하는 확률 모델의 하나이다. 은닉 마르코프모델은, 계열적인 데이터가 주어졌을 때, 그 계열적인 데이터가 출현할 확률을 계산할 수 있다.
- [0090] 은닉 마르코프모델에서는, 계열적인 데이터가 관측되었을 경우, 그 배후에, 계열적인 상태가 있다고 생각한다. 상태는 관측할 수 없으며, 데이터만이 관측된다.
- [0091] 이하, 은닉 마르코프모델을 설명한다. 은닉 마르코프모델을 정의하는 파라미터는, 전이 확률 A, 출력 확률 B, 및 초기 확률 Π 의 3종류이다. 여기에서는, 상태의 수를 R이라고 한다. 초기 확률 Π 는, 후술하는 식 (1)에 있어서 총승을 나타내는 Π 와 같은 기호인데, 의미는 다르다.
- [0092] 전이 확률 A는, a_{ij} 의 집합이다($A = \{a_{ij}\}$). a_{ij} 는, 시각 (t-1)에 있어서 상태 i이었던 것이, 시각 t에 있어서 상태 j가 되는 확률을 나타낸다. 여기에서, i, j는, 1 이상 R 이하의 정수이다.
- [0093] 출력 확률 B는, b_{jk} 의 집합이다($B = \{b_{jk}\}$). b_{jk} 는, 상태 j에 있어서 k번째의 관측 신호 v_k 가 출력될 확률 분포를 나타낸다. 본 실시 형태에서는, 출력으로서 연속값이 상정되어 있고, 관측 신호 v_k 가 출력될 확률은 정규 분포로 표현된다. 본 실시 형태에서는 단일 정규 분포가 사용되고 있지만, 이것 대신에 혼합 정규 분포가 사용되어도 된다.
- [0094] 초기 확률 Π 은, π_j 의 집합이다($\Pi = \{\pi_j\}$). π_j 는, 시각 t=0에 있어서의, 상태 j일 확률을 나타낸다. 은닉 마르코프모델에서는 상태는 숨겨져 있지만, 초기값이 자의적으로 가결정된다.
- [0095] 은닉 마르코프모델에는, 크게 나누어, Ergodic 은닉 마르코프모델과, Left-to-Right 은닉 마르코프모델이 있다.
- [0096] Ergodic 은닉 마르코프모델이 도 4(a)에 나타나어져 있다. Ergodic 은닉 마르코프모델에는, 복수의 상태가 포함된다. 도 4(a)에서는, 상태가 3개인 예를 나타내고 있다. 각각의 상태는, 자신을 포함하는 모든 상태로 전이할 수 있다.
- [0097] Ergodic 은닉 마르코프모델에서는, 에르고드성이 성립한다. 에르고드성이란, [A] 임의의 상태에서부터 임의의 상

태로 도달 가능하고, [B] 주기성을 갖지 않으며, 또한, [C] 상태 수가 유한한 것을 말한다. 은닉 마르코프모델이 에르고드성을 가질 때, 집합 평균과 시간 평균이 일치한다.

- [0098] Left-to-Right 은닉 마르코프모델이 도 4(b)에 나타내어져 있다. Left-to-Right 은닉 마르코프모델에는, 복수의 상태가 포함된다. 도 4(b)에서는, 상태가 4개인 예를 나타내고 있다. Left-to-Right 은닉 마르코프모델에서는, 상태의 전이가 반드시 1방향이 되기 때문에, 일단 다른 상태로 전이되면 전이 전의 상태로 되돌아갈 수 없다.
- [0099] Left-to-Right 은닉 마르코프모델에서는, 에르고드성이 성립하지 않는다. Left-to-Right 은닉 마르코프모델은, 되돌아가기의 전이를 할 수 없는 제약을 갖는다. 이와 같이 상태의 전이에 제약이 있기 때문에, Left-to-Right 은닉 마르코프모델에는 계산량을 적게 할 수 있는 이점이 있어, 시계열 데이터의 평가에 적합하다.
- [0100] 본 실시 형태에 있어서는, 판정용 모델로서, Ergodic 은닉 마르코프모델 및 Left-to-Right 은닉 마르코프모델을 모두 사용할 수 있다. 은닉 마르코프모델의 상태 수는, 2이상이라면 임의이며, 적절히 정해진다.
- [0101] 학습부(57)는, 상술한 N개의 대표 평가값의 계열을 판정용 모델에 입력하고, 판정용 모델이 당해 대표 평가값의 계열을 생성할 확률이 높아지도록, 상술한 전이 확률, 출력 확률, 초기 확률의 파라미터를 갱신해 간다. 이때, 공지된 EM(Expectation Maximization)법, 및, Baum-Welch 알고리즘이 사용된다.
- [0102] Ergodic 은닉 마르코프모델을 사용할 경우, 복수의 대표 평가값이 학습 모델에 입력되는 순번이 고정되어도 되고, 고정되지 않아도 된다. Left-to-Right 은닉 마르코프모델을 사용할 경우, 복수의 대표 평가값의 입력순이 일시순으로 고정되는 것이 바람직하다. 계열 처리부(54)는, N개의 대표 평가값으로 이루어지는 계열을 조건에 따라 생성하여, 판정부(55)로 출력한다.
- [0103] 확률 출력부(58)는, 감시 기간에서 얻어진 대표 평가값을 포함하는 계열을, 작성된 판정용 모델에 입력하여, 당해 계열이 나타나는 확률을 취득한다.
- [0104] 은닉 마르코프모델은, 대표 평가값의 계열을 입력함으로써, 이 계열이 출현할 확률을 계산에 의해 추정할 수 있다. 계산된 확률은, 모델에 입력된 계열의 가능성을 수치화한 것(가능도)이라고 생각할 수도 있다. 모델로부터 출력되는 확률이 낮으면, 모델에 입력된 대표 평가값의 계열이, 통상보다 다르게 되어 있을 개연성이 높다고 할 수 있다. 따라서, 이 확률은, 특이도를 반영한 것이다. 특이도는, 이상도라고 바꿔 말할 수도 있다. 은닉 마르코프모델은, 학습한 계열에 대하여 입력한 계열이 유사할수록, 확률을 높게 출력한다. 따라서, 확률을 취득하는 것은, 2개의 계열의 유사도를 취득하는 것과 실질적으로 동일하다. 확률 출력부(58)는, 얻어진 확률을 변환부(61)로 출력한다.
- [0105] 변환부(61)는, 확률 출력부(58)로부터 얻어진 확률을 로그 변환한다. 얻어진 값(로그 가능도)은 경보 발생부(62) 및 표시부(63)로 출력된다.
- [0106] 경보 발생부(62)는, 변환부(61)로부터 입력된 로그 가능도가 소정의 범위를 벗어났을 경우, 고장 전조의 경보를 발한다. 본 실시 형태에 있어서, 경보는, 경보 발생부(62)가 표시부(63)의 표시를 제어함으로써 실현된다.
- [0107] 표시부(63)는, 도 8 등에 대응하는 그래프를 표시 가능하다. 표시부(63)는, 예를 들어 액정 디스플레이 등의 표시 장치로 구성된다. 오퍼레이터는, 대표 평가값의 계열의 로그 가능도에 대해서, 평소의 경향에서 벗어나 있는지 여부를 감시한다. 오퍼레이터는, 이 정보를 활용하여, 장래의 메인テナンス 계획을 적절하게 세울 수 있다. 덧붙여, 표시부(63)는, 경보 발생부(62)로부터의 신호에 따라, 표시하는 축을 전환하거나, 또한, 예를 들어 메시지의 형태로 경보를 출력하거나 할 수 있다.
- [0108] 계속해서, 본 실시 형태의 로봇 고장 전조 검출 장치(5)가 사용하는 로봇 고장 전조 검출 방법에 대하여, 도 2의 세션으로 나타내는 데이터의 흐름에 따라 설명한다. 이하에서는, 데이터 수집 단위 기간을 1일, N을 30으로 하여 설명한다.
- [0109] 로봇 고장 전조 검출 장치(5)의 전류값 시계열 데이터 취득부(51)는, 어떤 1일에 있어서 재생된 복수회의 로봇 동작의 각각에 대하여 전류값 시계열 데이터를, 전류값 시계열 데이터 취득부(51)를 통하여 취득한다(거동 시계열 데이터 취득 공정).
- [0110] 그 후, 평가값 계산부(52)는, 전류값 시계열 데이터 취득부(51)에 의해 취득된 전류값 시계열 데이터의 각각으로부터, 제곱 평균 제곱근 등의 함수에 의해 평가값을 계산한다(평가값 계산 공정). 평가값은, 전류값 시계열 데이터의 수와 동일한 수만큼 얻을 수 있다.

- [0111] 이어서, 대표 평가값 생성부(53)는, 1일 중, 얻어진 복수의 평가값을 대표하는 대표 평가값을 생성한다(대표 평가값 생성 공정). 대표 평가값은, 1일 내에서 얻어진 복수의 평가값의 중앙값으로 할 수 있다.
- [0112] 1일마다, 상기의 처리가 반복된다. 이 결과, 초기 가동 기간인 N회분의 데이터 수집 단위 기간(30일)이 끝난 시점에서, 30개의 대표 평가값이 얻어진다.
- [0113] 30개의 대표 평가값이 얻어지면, 계열 처리부(54)는, 1일째부터 30일째까지의 대표 평가값을 시간순으로 나열하도록 하여 계열을 생성한다(계열 처리 공정). 계열 처리부(54)는, 생성된 대표 평가값의 계열을 판정부(55)로 출력한다. 이하, 이 계열을 초기 계열이라고 하는 경우가 있다. 초기 계열이, 도 6(a)에 나타내어져 있다. 도 6에 있어서, 1개의 4각형이 1개의 대표 평가값을 나타내고 있다. 4각형 안의 숫자는, 그 대표 평가값이 며칠 째에 얻어진 것인가를 나타낸다.
- [0114] 판정부(55)의 학습부(57)는, 이 초기 계열을 기계 학습 모델에 입력하여 학습시킨다(모델 작성 공정). 판정용 모델에 대표 평가값의 계열이 입력되고, 당해 계열의 출현 확률이 커지도록 판정용 모델의 파라미터가 수정된다. 판정용 모델의 파라미터란, 구체적으로는, 상술한 전이 확률 A, 출력 확률 B, 및 초기 확률 Π 이다. 이 처리가 학습의 1회에 대응하고, 학습은 복수회 반복된다. 이 처리의 반복이, 기계 학습의 훈련 페이지에 대응한다.
- [0115] 학습 회수는, 예를 들어 100회로 하는 것을 생각할 수 있다. 단, 학습이 100회에 도달하기 전이라도, 판정용 모델의 파라미터의 수렴이 확인되었을 경우에는 학습을 중단할 수도 있다. 학습 완료 후, 판정용 모델의 파라미터는, 판정부(55)가 구비하는 판정용 모델 기억부(59)에 기억된다.
- [0116] N+1일째 이후는, 감시 기간이다. 감시 기간에 있어서, 계열 처리부(54)는, 판정부(55)에서 특이도를 평가하는 대상이 되는 대표 평가값의 계열을 작성한다(계열 처리 공정). 계열 처리부(54)는, 생성된 대표 평가값의 계열을 판정부(55)로 출력한다. 이하, 이 계열을 판정용 계열이라고 하는 경우가 있다. 본 실시 형태에 있어서, 판정용 계열이, 판정용 데이터에 대응한다. 계열 처리부(54)가 생성하는 판정용 계열은, 대표 평가값 생성부(53)가 새로운 대표 평가값을 생성할 때마다, 즉 매일 변화한다. 판정용 계열에는, N+1일째 이후의 대표 평가값이 적어도 하나 포함된다.
- [0117] 이하, 판정용 계열을 위한 처리를 구체적으로 설명한다. N+1회째의 데이터 수집 단위 기간(31일째)에 있어서의 대표 평가값이 얻어지면, 계열 처리부(54)는, 판정용 계열을 초기 계열에서 초기화한다. 이 초기화 처리는, 첫 회(31일째)에만 행해진다. 계속해서, 계열 처리부(54)는, 판정용 계열의 말미에, 얻어진 최신의 대표 평가값을 추가한다. 이 추가에 의해, 판정용 계열을 구성하는 대표 평가값이 31개가 되어버리므로, 계열 처리부(54)는, 계열의 선두에 위치하는 가장 오래된 대표 평가값을 삭제한다. 31일째에 있어서의 판정용 계열이 도 6(b)에 나타내어져 있다.
- [0118] 이 갱신 처리는, 32일째 이후에 대해서도 마찬가지로 행해진다. 계열 처리부(54)는, 이와 같이, 전회의 판정용 계열로부터 가장 오래된 대표 평가값을 삭제하고, 2번째 이후의 대표 평가값은 1개분만큼 계열의 선두측으로 이동시키고, 말미에 최신의 대표 평가값을 추가함으로써, 매일의 대표 평가값의 계열을 작성한다. 32일째에 있어서의 판정용 계열이 도 6(c)에, 33일째에 있어서의 판정용 계열이 도 6(d)에 각각 나타내어져 있다. 판정용 계열의 대표 평가값은, 1회의 갱신 처리마다, 1개씩 치환되어 간다.
- [0119] 확률 출력부(58)는, 계열 처리부(54)가 생성한 판정용 계열을, 판정용 모델 기억부(59)에 기억되어 있는 판정용 모델에 입력하여, 당해 계열이 출현할 확률을 구한다. 이 처리가, 기계 학습의 평가 페이지에 대응한다. 확률 출력부(58)는, 얻어진 확률을 변환부(61)로 출력한다.
- [0120] 변환부(61)는, 확률 출력부(58)로부터 출력된 확률을 로그로 변환하여, 로그 가능도를 구한다. 로그 변환에 의해, 수치의 취급이 용이해진다.
- [0121] 경보 발생부(62)는, 얻어진 로그 가능도가 소정 범위 내에 있는지 여부를 조사함으로써, 고장 전조의 유무를 판정한다(고장 전조 판정 공정). 구체적으로는, 경보 발생부(62)는, 로그 가능도와 소정의 역치를 비교한다. 로그 가능도가 소정 역치를 하회했을 경우, 경보 발생부(62)는, 예를 들어 고장 전조가 검지되었다는 것을 표시부(63)에 표시하는 것 등에 의해, 경보를 발한다(경보 발생 공정).
- [0122] 이어서, 은닉 마르코프모델을 사용하는 본 실시 형태의 효과에 대해서 설명한다.
- [0123] 도 7의 그래프에는, 어떤 서보 모터의 전류값의 제곱 평균 제곱근(I2라고 하는 경우가 있음)에 관하여 로봇 가동 개시로부터의 추이가 나타내어져 있다. 가로 축은 시간, 세로 축은 제곱 평균 제곱근이다. 이 그래프의 예

에서는, 3각형의 마크 부근으로부터 제공 평균 제공근이 다소 상승하고 있다는 것을 알 수 있다. 그러나, 이 상승량은 작기 때문에, 고장 전조가 있는지 여부의 판정은 곤란하다. 도 7의 굵은 선은, 당초의 30일의 평균을 계산하고, 얻어진 값에 1.1을 곱한 값을 나타낸다. 이 굵은 선을 이상 판정 역치라고 했을 경우, 이상하다고 판정되는 점은 1개밖에 없다.

- [0124] 도 8의 그래프에는, 상기의 제공 평균 제공근을 은닉 마르코프모델로 평가한 결과가 나타내어져 있다. 가로 축은 시간, 세로 축은 로그 가능도이다. 도 8의 예에서는, 도 5에 나타내는, 상태 수가 2개인 Ergodic 은닉 마르코프모델이 사용되고 있다.
- [0125] 도 8에 나타내는 바와 같이, 로그 가능도는, 12월 16일 전후부터 변화를 개시하고 있다. 이상의 징후는, (도 7과 같이 1점만의 이상치로 나타나는 것이 아니라,) 복수의 점의 슬로프 형태의 추이로 명확히 나타난다. 이것은, 판정용 계열의 갱신마다, 이상 데이터가 판정용 계열에서 차지하는 비율이 누적적으로 증가하기 쉽기 때문이라고 생각된다.
- [0126] 이러한 성질에 의해, 오퍼레이터는 이상의 징후를 직관적으로 또한 용이하게 파악할 수 있다.
- [0127] 이상으로 설명한 바와 같이, 본 실시 형태의 로봇 고장 전조 검출 장치(5)는, 전류값 시계열 데이터 취득부(51)와, 평가값 계산부(52)와, 대표 평가값 생성부(53)와, 계열 처리부(54)와, 판정부(55)를 구비한다. 전류값 시계열 데이터 취득부(51)는, 로봇 동작으로부터, 로봇(1)의 관절 구동 전류의 전류값 시계열 데이터를 취득하는 처리를, 데이터 수집 단위 기간마다 행한다. 평가값 계산부(52)는, 전류값 시계열 데이터 취득부(51)에 의해 취득된 전류값 시계열 데이터에 대하여 평가값을 계산한다. 대표 평가값 생성부(53)는, 데이터 수집 단위 기간마다, 평가값 계산부(52)에서 얻어진 평가값으로부터, 평가값을 대표하는 대표 평가값을 생성한다. 계열 처리부(54)는, 대표 평가값의 계열을 생성한다. 판정부(55)는, 로봇(1)의 가동 초기에 있어서, 계열 처리부(54)가 생성한 계열인 초기 계열에 기초하여 판정용 모델을 작성한다. 판정부(55)는, 가동 초기보다 나중에는, 당해 가동 초기보다 나중의 로봇 동작에 기초하는 대표 평가값을 포함하는 판정용 계열을, 작성된 판정용 모델에 입력하여, 판정용 계열의 특이도를 취득한다.
- [0128] 이에 따라, 로봇(1)의 고장 전조를 양호하게 검출할 수 있다. 따라서, 로봇(1)의 메인テナンス를 고장 전에 행하는 것이 가능해진다.
- [0129] 또한, 본 실시 형태에서는, 가동 초기보다 나중에 있어서, 판정부(55)는, 데이터 수집 단위 기간마다, 복수개의 대표 평가값으로 구성되는 판정용 계열을 판정용 데이터로서 판정용 모델에 입력하고, 판정용 모델의 출력에 기초하여 특이도를 취득한다. 판정용 계열을 생성하기 위하여, 계열 처리부(54)는, 판정용 계열을 초기 계열에서 초기화한 후, 대표 평가값이 생성될 때마다 판정용 계열의 갱신 처리를 행한다. 갱신 처리는, 갱신 전의 판정용 계열에 대하여 데이터 수집 단위 기간의 대표 평가값을 추가하는 처리를 포함한다.
- [0130] 이에 따라, 특이도의 추이로부터 로봇(1)의 고장 전조를 검출하는 것이 용이해진다.
- [0131] 또한, 본 실시 형태의 로봇 고장 전조 검출 장치(5)에 있어서, 판정용 모델은, 초기 계열을 학습시킨 은닉 마르코프모델이다.
- [0132] 이에 따라, 계열적인 데이터를 용이하게 취급하는 것이 가능한 모델을 사용하여, 로봇(1)의 고장 전조를 높은 정밀도로 검출할 수 있다.
- [0133] 또한, 본 실시 형태의 로봇 고장 전조 검출 장치(5)에 있어서, 상기 은닉 마르코프모델은, Ergodic 은닉 마르코프모델이다. Ergodic 은닉 마르코프모델이 갖는 상태의 수가 2개이다.
- [0134] 이에 따라, 모델의 구성을 단순화할 수 있다.
- [0135] 또한, 본 실시 형태의 로봇 고장 전조 검출 장치(5)에 있어서, 은닉 마르코프모델은, 초기 계열을 학습시킨 Left-to-Right 은닉 마르코프모델로 할 수도 있다. 이 경우, 초기 계열 및 판정용 계열은, 대표 평가값을 시간순으로 N개 나열한 계열로서 구성된다.
- [0136] 이에 따라, 시계열적인 데이터를 취급하기가 좋은 모델을 사용하여, 로봇(1)의 고장 전조를 높은 정밀도로 검출할 수 있다. 또한, 모델에 있어서의 상태 전이의 제약 분만큼, 계산량을 줄일 수 있다.
- [0137] 또한, 본 실시 형태의 로봇 고장 전조 검출 장치(5)에 있어서, 제공 평균 제공근이 평가값으로서 계산된다. 단, 평가값으로서, 최댓값, 값 폭, 또는 주파수 분석 적산값이 계산되어도 된다.

- [0138] 이에 따라, 전류값 시계열 데이터의 변화를 양호하게 평가할 수 있다.
- [0139] 또한, 본 실시 형태의 로봇 고장 전조 검출 장치(5)에 있어서, 평가값 계산부(52)는, 전류값 시계열 데이터 취득부(51)에 의해 취득된 거동 시계열 데이터의 각각에 대하여, 주파수 해석을 행하여 주파수 스펙트럼을 구하고, 복수의 미리 정한 주파수대에 대하여 주파수 스펙트럼의 부분적인 총합을 대표 평가값으로서 복수개 구한다. 대표 평가값 생성부(53)는, 데이터 수집 단위 기간마다, 복수의 대표 평가값을 생성한다. 판정용 모델은, 복수 차원의 계열을 초기 계열로서 입력 가능한 모델이다.
- [0140] 이에 따라, 주파수 해석에 기초하여 얻어진 주파수 스펙트럼에 기초하여 로봇(1)의 고장 전조에 관한 판정을 행할 수 있다.
- [0141] 또한, 본 실시 형태의 로봇 고장 전조 검출 장치(5)에 있어서, 데이터 수집 단위 기간은, 환경 온도의 변화 주기의 정수배, 예를 들어 1일의 정수배가 되도록 정해진다.
- [0142] 이에 따라, 환경 온도의 주기적인 변화의 영향을 실질적으로 제거할 수 있다. 따라서, 고장 전조의 검지 정밀도가 양호하다.
- [0143] 또한, 본 실시 형태의 로봇 고장 전조 검출 장치(5)에 있어서, 데이터 수집 단위 기간은, 근무 주기 또는 로봇(1)의 가동 주기의 정수배가 되도록 정해진다.
- [0144] 이에 따라, 근무 주기 또는 로봇(1)의 가동 주기의 시기에 있어서는 그리스의 점도가 높다고 하는 현상의 영향을, 실질적으로 제거할 수 있다. 따라서, 고장 전조의 검지 정밀도가 양호하다.
- [0145] 또한, 본 실시 형태의 로봇 고장 전조 검출 장치(5)는, 판정부(55)가 출력하는 특이도를 표시하는 표시부(63)를 구비한다.
- [0146] 이에 따라, 로봇(1)의 고장 전조에 대해서 주위에 알기 쉽게 알릴 수 있다.
- [0147] 또한, 본 실시 형태에 있어서, 판정부(55)는, 특이도를 로그 변환한 형태로 출력한다.
- [0148] 이에 따라, 판정부(55)의 출력이 수치적으로 취급하기 쉬워진다. 예를 들어 도 8의 그래프의 출력이 과도하게 민감하게 변동되는 방지할 수 있다.
- [0149] 또한, 본 실시 형태의 로봇 고장 전조 검출 장치(5)는, 경보 발생부(62)를 구비한다. 경보 발생부(62)는, 판정부(55)가 출력하는 특이도가 소정의 범위를 벗어났을 경우에, 고장 전조의 경보를 발한다.
- [0150] 이에 따라, 고장의 전조를 주위에 명확하게 알릴 수 있다.
- [0151] 이어서, 제2 실시 형태를 설명한다. 또한, 제2 실시 형태 이후의 설명에 있어서는, 상술한 실시 형태와 동일 또는 유사한 부재에는 도면에 동일한 부호를 부여하고, 설명을 생략하는 경우가 있다.
- [0152] 본 실시 형태에서는, 판정용 모델로서, 은닉 마르코프모델 대신에, 정규 분포에 기초하는 모델을 사용한다.
- [0153] 도 9는, 본 실시 형태의 블록도이다. 본 실시 형태의 판정부(55)는, 제1 실시 형태의 학습부(57) 대신에 판정용 모델 작성부(67)를 구비한다. 그 밖의 부분은, 제1 실시 형태와 실질적으로 동일하다.
- [0154] 이하, 본 실시 형태에서 사용되는 판정용 모델을 설명한다. 판정용 모델 작성부(67)에 대하여 N개의 대표 평가값으로 이루어지는 초기 계열 $C_{1(1)}, C_{1(2)}, \dots, C_{1(N)}$ 이 입력되었을 경우를 생각한다. 판정용 모델 작성부(67)는, 이러한 초기 계열을 구성하는 N개의 대표 평가값을 대상으로 하여, 평균 μ , 및 표준 편차 σ 를 계산한다.
- [0155] 판정부(55)에 있어서는, 판정용 모델 f 가 구축된다. 이 판정용 모델 f 는, 이하의 식 (1)로 표시된다.

$$f = \prod_{q=1}^Q \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(C_{2(q)} - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \dots (1)$$

- [0156] .
- [0157] 단, $C_{2(1)}, C_{2(2)}, \dots, C_{2(Q)}$ 는 Q개의 대표 평가값으로 이루어지는 판정용 계열이다.
- [0158] 상기의 식 (1)은 주지의 정규 분포식을 포함하고 있다. 즉, 본 실시 형태의 판정용 모델 f 는, 초기 계열의 N개의 대표 평가값의 평균 μ 및 표준 편차 σ 에 기초하는 정규 분포를, 판정용 계열에 있어서의 대표 평가값의 수 Q만큼 총승한 것에 대응한다.

- [0159] 이 판정용 모델 f 를 사용했을 경우의 출력도, 제1 실시 형태의 도 8의 그래프와 실질적으로 동일한 추이를 나타낸다는 것이, 발명자의 실험에 의해 확인되고 있다. 즉, 판정용 모델 f 의 출력은, Q 개의 대표 평가값으로 이루어지는 계열이 출현할 확률(바뀌 말하면, 특이도)과 동일하게 취급할 수 있다.
- [0160] 본 실시 형태에서는, 초기 계열의 평균 μ 및 표준 편차 σ 를 구함으로써 모델을 얻을 수 있다. 판정용 모델 작성부(67)에 의해 계산된 평균 μ 및 표준 편차 σ 는, 판정용 모델을 정의하는 파라미터로서 판정용 모델 기억부(59)에 기억된다.
- [0161] 식 (1)에 나타내는 판정용 모델 f 에서는 정규 분포의 총승이 사용되고 있지만, 정규 분포의 로그 총승 또는 총합이어도 된다. 또한, 정규 분포의 총합이 사용되어도 된다. 발명자의 실험에 의하면, 총합을 사용하는 경우(단, 로그 변환되어 있지 않음.)는, 판정용 모델 f 의 출력의 추이가 총승보다도 다소 거칠게 변동되는 경향이 있지만, 고장의 징후를 포착하는 것은 충분히 가능하다.
- [0162] 이상으로 설명한 바와 같이, 본 실시 형태의 로봇 고장 전조 검출 장치(5)에 있어서, 판정용 모델은, 초기 계열을 구성하는 N 개의 대표 평가값으로부터 구해진 표준 편차 σ 및 평균값에 기초하는 정규 분포를, Q 회분 총승 또는 총합한 것으로 이루어진다. 또한, 로그화를, 도중 또는 최종값으로 행해도 된다.
- [0163] 이에 따라, 판정용 모델을 적은 계산량으로 작성할 수 있다.
- [0164] 이어서, 제3 실시 형태를 설명한다. 도 10은, DTW법을 나타내는 개념도이다.
- [0165] 본 실시 형태의 로봇 고장 전조 검출 장치(5)에 있어서는, 평가값 계산부(52)가 행하는 평가값의 계산에 특징이 있다. 평가값 계산부(52)는, 전류값 시계열 데이터 취득부(51)에 의해 취득된 전류값 시계열 데이터로부터 DTW법에 기초하는 DTW 거리 등을 구하고, 이것을 평가값으로 한다. DTW는, Dynamic Time Warping의 약칭이다. 본 실시 형태에 있어서, 평가값 계산부(52)가 행하는 처리 이외의 부분은, 상술한 제1 실시 형태와 실질적으로 동일하다.
- [0166] 여기에서, DTW법에 대해서 간단히 설명한다. DTW법은, 2개의 시계열 데이터가 유사한 정도를 계산하기 위해서 사용된다. DTW법의 커다란 특징은, 유사도의 계산에 있어서, 시계열 데이터의 시간 축 방향에서의 비선형인 신축을 허용하는 점이다. 이에 따라, DTW법은, 시계열 데이터의 유사도에 관하여 인간의 직관에 가까운 결과를 얻을 수 있다.
- [0167] 평가값 계산부(52)는, 기준 전류값 시계열 데이터(기준 거동 시계열 데이터)와, 비교용 전류값 시계열 데이터(비교용 거동 시계열 데이터) 차이의 크기를 나타내는 DTW 거리(비유사도)를 처리 대상의 전류값 시계열 데이터의 평가값으로서 출력한다.
- [0168] 기준 전류값 시계열 데이터로서는, 예를 들어 로봇 고장 전조 검출 장치(5)의 사용 개시에 있어서 로봇(1)을 시험적으로 동작시켰을 때에, 전류값 시계열 데이터 취득부(51)에 의해 취득된 전류값 시계열 데이터가 사용된다. 비교용 전류값 시계열 데이터로서는, 로봇 고장 전조 검출 장치(5)의 사용이 개시된 1일째 이후에, 전류값 시계열 데이터 취득부(51)에 의해 취득된 전류값 시계열 데이터가 사용된다. 기준 데이터가, 예를 들어 1일째에 취득되어도 된다.
- [0169] DTW법의 원리에 대하여 도 10을 사용하여 설명한다. 기준 데이터에 포함되는 복수(s 개)의 전류값을, 가로 방향으로 연장되는 제1 축에 따라, 시계열 순으로 배치한다. 비교용 데이터에 포함되는 복수(p 개)의 전류값을, 세로 방향으로 연장되는 제2 축에 따라, 시계열 순으로 배치한다.
- [0170] 계속해서, 종횡의 축으로 정의되는 평면에, 매트릭스상으로 배치된 $s \times p$ 개의 셀을 정의한다. 각각의 셀(l, m)은 기준 데이터에 있어서의 1번째의 전류값과, 비교용 데이터에 있어서의 m 번째의 전류값의 대응을 나타내고 있다. 단, $1 \leq l \leq s, 1 \leq m \leq p$ 이다.
- [0171] 각각의 셀(l, m)에는, 기준 데이터에 있어서의 1번째의 전류값과, 비교용 데이터에 있어서의 m 번째의 전류값의 차이를 나타내는 수치가 관련지어져 있다. 본 실시 형태에서는, 각 셀에, 1번째의 전류값과 m 번째의 전류값의 차이의 절댓값이 관련지어져 기억된다.
- [0172] 평가값 계산부(52)는, 도 10의 매트릭스의 좌측 하단 모서리에 위치하는 시점 셀로부터, 우측 상단 모서리에 위치하는 종점 셀에 이르는 워핑 패스(경로)를 구한다.
- [0173] 시점 셀($1, 1$)은 기준 데이터에 있어서의 s 개의 전류값 중, 시계열에서 최선의 타이밍(즉, 1번째)의 전류값과, 비교용 데이터에 있어서의 p 개의 전류값 중, 시계열에서 최선의 타이밍(즉, 1번째)의 전류값을 대응짓는 것에

상당한다.

- [0174] 종점 셀(s, p)은 기준 데이터에 있어서의 s개의 전류값 중, 시계열에서 최후의 타이밍(즉, s번째)의 전류값과, 비교용 데이터에 있어서의 p개의 전류값 중, 시계열에서 최후의 타이밍(즉, p번째)의 전류값을 대응짓는 것에 상당한다.
- [0175] 이상과 같이 구축된 $s \times p$ 개의 매트릭스에 있어서, 이하의 [1] 및 [2]의 룰에 따라, 시점 셀을 출발하여 종점 셀에 도달하는 경로를 생각한다. [1] 세로, 가로, 또는 비스듬하게 인접하는 셀로만 이동할 수 있다. [2] 기준 데이터의 시간을 되돌리는 방향으로 이동할 수 없고, 비교용 데이터의 시간을 되돌리는 방향으로도 이동할 수 없다.
- [0176] 이러한 셀이 연속된 것은, 경로 또는 워핑 패스라고 한다. 워핑 패스는, 기준 데이터에 있어서의 s개의 전류값과, 비교용 데이터에 있어서의 p개의 전류값을, 어떻게 각각 대응짓는지를 나타내고 있다. 다른 관점에서 말하면, 워핑 패스는, 2개의 시계열 데이터를 시간 축 방향에서 어떻게 신축시키는지를 나타내고 있다.
- [0177] 시점 셀로부터 종점 셀에 이르는 워핑 패스는 여러 가지를 생각할 수 있다. 평가값 계산부(52)는, 생각할 수 있는 워핑 패스 중에서, 통과하는 셀에 관련지어지는 차이를 나타내는 수치(본 실시 형태에서는, 1번째의 전류값과 m번째의 전류값 차이의 절댓값)의 합계가 최소가 되는 워핑 패스를 구한다. 이하에서는, 이 워핑 패스를 최적 워핑 패스라고 하는 경우가 있다. 또한, 이 최적 워핑 패스에 있어서의 각 칸 내의 값의 합계값을 DTW 거리라고 하는 경우가 있다.
- [0178] DTW 거리를, 통과한 칸의 수로 제산함으로써 DTW 거리 평균값을 구할 수 있다. DTW 거리 평균값은, DTW 거리를 어느 시계열 데이터의 요소수 s 또는 p로 제산함으로써 구해도 된다. DTW 거리 대신에, DTW 거리 평균값을 평가값으로 할 수도 있다.
- [0179] s 및 p가 큰 경우, 방대한 수의 워핑 패스를 생각할 수 있다. 따라서, 생각할 수 있는 모든 워핑 패스를 만일 고려하면, 최적 워핑 패스를 구하기 위한 계산량이 폭발적으로 증대해 버린다. 이 과제를 해결하기 위해서, 본 실시 형태의 평가값 계산부(52)는, DP 매칭 수법(동적 계획법)을 사용하여 최적 워핑 패스를 구한다. DP는, Dynamic Programming의 약칭이다. DP 매칭 수법은 공지되어 있으므로 설명을 생략한다.
- [0180] DTW 거리 또는 DTW 거리 평균값은, 전류값 시계열 데이터 취득부(51)가 취득한 전류값 시계열 데이터의 각각에 대하여, 평가값 계산부(52)에 의해 계산된다. 대표 평가값 생성부(53)가 생성하는 대표 평가값은, 예를 들어 1일에 다수 취득된 DTW 거리 또는 DTW 거리 평균값의 중앙값이다. 대표 평가값의 계열이, 계열 처리부(54)에 의해 생성되고, 판정부(55)에 초기 계열 또는 판정용 계열로서 입력된다.
- [0181] 본 실시 형태에서 얻어진 로그 가능도의 추이가, 도 11의 그래프에 나타내어져 있다. 이 그래프에서 나타내는 바와 같이, 본 실시 형태에 있어서도 제1 실시 형태와 마찬가지로, 12월 16일 전후부터, 고장의 전조가 명확히 나타나기 시작하고 있다.
- [0182] 이상으로 설명한 바와 같이, 본 실시 형태의 로봇 고장 전조 검출 장치(5)에 있어서, 평가값 계산부(52)는, 전류값 시계열 데이터 취득부(51)에 의해 취득된 전류값 시계열 데이터의 각각에 대하여, 소정의 기준 전류값 시계열 데이터와의 사이의 DTW 거리 및 DTW 거리 평균값 중 어느 것을 평가값으로서 계산한다.
- [0183] 이에 따라, 전류값의 시계열 데이터의 변화 경향을 용이하게 포착할 수 있다.
- [0184] 이어서, 제4 실시 형태를 설명한다. 도 12는, 제4 실시 형태의 로봇 고장 전조 검출 장치(5)의 전기적 구성을 개략적으로 나타내는 블록도이다.
- [0185] 본 실시 형태의 로봇 고장 전조 검출 장치(5)는, 도 2에 나타내는 제1 실시 형태를 변형한 것에 대응한다.
- [0186] 본 실시 형태의 판정부(55)는, 제1 실시 형태와 마찬가지로, 학습부(57), 확률 출력부(58), 판정용 모델 기억부(59) 및 변환부(61)를 구비한다. 판정부(55)는 추가로, 확률 기억부(68)와, 총승값 출력부(69)를 구비한다.
- [0187] 본 실시 형태의 학습부(57)는, 제1 실시 형태와 마찬가지로, 초기 계열을 은닉 마르코프모델에 학습시킨다. 얻어진 은닉 마르코프모델의 파라미터가, 판정용 모델 기억부(59)에 기억된다.
- [0188] 상술한 바와 같이, 도 2에 나타내는 제1 실시 형태에서는, 감시 기간(즉, N+1일 이후)에 있어서, 판정부(55)의 판정용 모델에 대하여 Q개의 대표 평가값으로 이루어지는 계열이 계열 처리부(54)로부터 1일마다 입력된다. 한편, 도 12에 나타내는 본 실시 형태에서는, 판정부(55)의 판정용 모델에 대하여 그 날에 얻어진 1개의 대표 평

가값만이, 기억부(50)로부터 판정용 데이터로서 1일마다 입력된다. 본 실시 형태에 있어서, 이 1개의 대표 평가값이, 판정용 데이터에 대응한다.

- [0189] 일반적으로, 은닉 마르코프모델은 계열 데이터를 평가하는 용도로 사용되는 경우가 많다. 그러나, 초기 계열에서 학습한 Ergodic 은닉 마르코프모델은, 평가 페이지에 있어서 계열이 아니라 단독의 형태로 대표 평가값을 입력했을 경우에 있어서도, 확률로서 취급하는 것이 가능한 값을 출력할 수 있다.
- [0190] 확률 출력부(58)는, 1개의 대표 평가값을 판정용 모델에 입력했을 경우의 판정용 모델의 출력 결과(즉, 확률)를 출력한다. 확률 출력부(58)가 출력한 확률은, 확률 기억부(68)에 기억된다.
- [0191] 확률 기억부(68)는, N+1일 이후에 있어서 판정용 모델이 출력한 확률을, 최근의 U일만큼 기억할 수 있다.
- [0192] 도 13에는, N=30, U=15인 경우의, 본 실시 형태에 있어서의 초기 계열 및 판정용 데이터가 나타내어져 있다. 30일째에, 학습부(57)는, 도 13(a)에 나타내는 30개의 대표 평가값의 계열을 은닉 마르코프모델에 학습시킨다. 이에 따라, 판정용 모델이 작성된다.
- [0193] 도 13(b)에 나타내는 바와 같이, 31일째에는, 판정용 모델에 31일째의 대표 평가값이 1개 입력되고, 판정용 모델이 출력한 확률이 기억된다. 도 13(c)에 나타내는 바와 같이, 32일째에는, 판정용 모델에 32일째의 대표 평가값이 1개 입력되고, 판정용 모델이 출력한 확률이 기억된다. 도 13에 있어서, 1개의 원이, 판정용 모델이 출력한 1개의 확률을 나타내고 있다. 원 안의 숫자는, 그 확률이, 며칠째의 대표 평가값에 대응하는 것인지를 나타낸다. 원이 파선인 경우에는, 그 확률이 과거에 기억된 것이라는 것을 나타낸다.
- [0194] 판정부(55)는, 1일마다, 그 날에 얻어진 1개의 대표 평가값을 판정용 모델에 입력하고, 판정용 모델이 출력한 확률을 기억하는 처리를 행한다. 이 결과, 45일째에는, 도 13(d)에 나타내는 바와 같이, 확률 기억부(68)에 15일분의 확률이 기억되게 된다.
- [0195] 45일째에 있어서, 총승값 출력부(69)는, 도 13(d)에 나타내는 바와 같이 확률 기억부(68)에 기억된 31일째부터 45일째까지의 15일분의 확률을, 모두 승산한다. 본 실시 형태에서는, 이렇게 하여 얻어진 총승값이, 특이도에 대응한다. 총승값 출력부(69)가 출력한 총승값은 변환부(61)에서 로그 변환되고, 판정부(55)로부터 출력된다.
- [0196] 46일째에는, 확률 기억부(68)에 있어서, 가장 오래된 31일째의 확률이 삭제됨과 함께, 46일째의 확률이 기억된다. 총승값 출력부(69)는, 도 13(e)에 나타내는 바와 같이 확률 기억부(68)에 기억된 32일째부터 46일째까지의 15일분의 확률을, 모두 승산한다. 이렇게 하여 얻어진 총승값이 변환부(61)에서 로그 변환되고, 판정부(55)로부터 출력된다.
- [0197] 본 실시 형태에서는, 판정부(55)로부터의 출력은, 45일째부터 실질적으로 개시된다. 본 실시 형태의 구성에 의해서도, 제1 실시 형태 및 제2 실시 형태와 마찬가지로, 고장의 전조를 양호하게 포착할 수 있다.
- [0198] 본 실시 형태에 있어서 판정부(55)는 총승값을 로그 변환한 형태로 출력하고 있지만, 최근의 15일분의 확률을 모두 가산한 값인 총합값을 특이도로서 출력해도 된다. 이 경우, 로그 변환을 생략할 수도 있다.
- [0199] 확률 기억부(68)를 생략할 수도 있다. 이 경우, 31일째부터 45일째까지의 모델 출력값을, 45일째에 한번에 계산하면 된다.
- [0200] 이상으로 설명한 바와 같이, 본 실시 형태에서는, 가동 초기보다 나중에 있어서, 판정부(55)는, 데이터 수집 단위 기간마다, 1개의 대표 평가값만을 판정용 데이터로서 판정용 모델에 입력하여 판정용 모델의 출력을 취득한다. 판정부(55)는, 최근의 복수의 데이터 수집 단위 기간에 걸치는 판정용 모델의 출력의 총승 또는 총합에 기초하여 특이도를 취득한다.
- [0201] 이 구성에 의해서도, 로봇(1)의 고장 전조를 양호하게 검출할 수 있다.
- [0202] 이어서, 제5 실시 형태를 설명한다. 도 14는, 제5 실시 형태의 로봇 고장 전조 검출 장치(5)의 전기적 구성을 개략적으로 나타내는 블록도이다.
- [0203] 본 실시 형태의 로봇 고장 전조 검출 장치(5)는, 정규화부(71)를 추가로 구비한다. 정규화부(71)는, 은닉 마르코프모델(판정용 모델)에 입력되는 대표 평가값을 정규화하기 위하여 사용된다.
- [0204] 여기에서, 정규화에 대해서 설명한다. 정규화란, 간단히 말하면, 어떤 데이터군에 포함되는 수치에 대하여 최솟값을 0이라고 하고 최댓값을 1이라고 하고, 사이의 수치를 0 내지 1로 비례 배분하도록 변환하는 것을 말한다.

- [0205] 본 실시 형태의 정규화부(71)는, 예를 들어 초기 가동 기간에 있어서의 30개의 대표 평가값을 대상으로 하여 최소값과 최대값을 구하고, 이것에 기초하여 각 대표 평가값의 정규화를 행한다. 정규화된 값은 기억부(50)에 기억되고, 계열 처리부(54)에 의한 초기 계열 및 판정용 계열의 작성을 위하여 사용된다.
- [0206] 정규화의 다른 수법으로서, 평균이 0이고, 분산이 1인 정규 분포가 되도록 데이터군을 변환해도 된다.
- [0207] 상술한 바와 같이, 전류값 시계열 데이터는, 로봇(1)의 각각의 축의 모터에 대해서 취득된다. 실제의 로봇의 예에서는, 손목축 모터의 전류값의 평균이 3A 정도인데 반해, 주축 모터의 전류값의 평균이 20A 정도이다. 전류값의 대소는, 당연히 대표 평가값에 영향을 미친다. 이와 같이 각 축에서 대표 평가값이 크게 다른 경우가 있지만, 정보 발생의 조건이 되는 역치를 축마다 정하는 것은 번잡하다. 또한, 로봇의 기종에 따라, 대형이거나 소형이거나, 가반 중량, 속도 등이 다르고, 이에 따라 전류값은 다양하게 다르다.
- [0208] 본 실시 형태에 있어서는, 정규화에 의해 이러한 차이를 해소하여, 통일적인 판정을 행할 수 있다. 본원 발명자들은, 대표 평가값을 정규화했을 경우, 정상인 경우에는 로그 가능도가 -50 내지 10의 범위로 수렴되고 있지만, 이상이 생기면 로그 가능도는 -500 부근까지 감소하는 경우가 많다는 지견을 얻었다. 따라서, 로그 가능도에 대하여 -100 정도의 값을 통일적인 역치로서 설정하면, 고장 전조의 검출로서 대체로 적절하다고 생각된다. 바꿔 말하면, 개개의 이상 판정 역치가 불필요해진다.
- [0209] 이상으로 설명한 바와 같이, 본 실시 형태의 로봇 고장 전조 검출 장치(5)에 있어서, 판정용 모델에 입력되는 대표 평가값이 정규화되어 있다.
- [0210] 이에 따라, 여러가지 모터로부터 얻어지는 전류값 시계열 데이터에 대하여 통일적인 판단을 행할 수 있다.
- [0211] 이어서, 제6 실시 형태를 설명한다. 도 15는, 제6 실시 형태의 로봇 고장 전조 검출 장치(5)의 전기적 구성을 개략적으로 나타내는 블록도이다.
- [0212] 본 실시 형태의 로봇 고장 전조 검출 장치(5)에 있어서는, 도 15에 나타내는 바와 같이, 평가값 계산부(52), 대표 평가값 생성부(53) 및 정규화부(71)를 2개씩 구비한다. 그 이외에 대해서는, 본 실시 형태는, 상술한 제1 실시 형태와 실질적으로 동일하다.
- [0213] 2개의 평가값 계산부(52)는, 각각 다른 함수를 사용하여, 전류값 시계열 데이터의 평가값을 계산한다. 예를 들어 1개의 평가값 계산부(52)는 제공 평균 제공근을 계산하고, 나머지의 평가값 계산부(52)는 최대값을 계산하는 것을 생각할 수 있다.
- [0214] 이에 따라, 판정부(55)에서 사용되는 은닉 마르코프모델은, 2종류의 평가값으로 이루어지는 2차원 벡터의 계열을 입력하여 확률을 계산하도록 구성되어 있다. 이에 따라, 복수의 평가값을 복합적으로 고려하여 고장의 전조를 검지할 수 있다.
- [0215] 각각의 평가값을 대표하는 대표 평가값이, 정규화부(71)에 의해 정규화된다. 이에 따라, 복수의 평가값 각각의 영향력을 균등화할 수 있다. 정규화된 후의 각각의 대표 평가값에, 가중을 위하여 정해진 배율이 곱해져도 된다. 이에 따라, 예를 들어 제공 평균 제공근을 최대값에 비하여 중시하여 고장 전조를 판정하는 것이 가능해진다. 정규화부(71)는, 생략할 수도 있다.
- [0216] 도 15에서는, 전류값 시계열 데이터에 대하여 2종류의 평가값이 계산되는 경우가 나타내어져 있다. 그러나, 로봇 고장 전조 검출 장치(5)가 3종류 이상의 평가값을 취득하도록 구성할 수도 있다. 이 경우, 은닉 마르코프모델에는, 3차원 이상의 벡터의 계열이 입력되게 된다.
- [0217] 정규 분포 모델의 경우, 모델 f , 즉 식 (1)에서는 일차원 모델로 되어 있지만 복수 차원에 대응시키기 위하여 각각의 평가값에 대하여 모델 f , 즉 식 (1)을 복수개 준비하여 곱함으로써, 혹은 더함으로써, 은닉 마르코프모델과 마찬가지로 복수 차원의 입력에 대응시킬 수도 있다.
- [0218] 이상으로 설명한 바와 같이, 본 실시 형태의 로봇 고장 전조 검출 장치(5)에 있어서, 평가값 계산부(52)는, 전류값 시계열 데이터 취득부(51)에 의해 취득된 전류값 시계열 데이터의 각각에 대하여, 서로 다른 방법으로 복수 종류의 평가값을 계산한다. 대표 평가값 생성부(53)는, 데이터 수집 단위 기간마다, 복수 종류의 대표 평가값을 생성한다. 판정용 모델은, 복수 차원의 계열을 입력 가능한 모델이다.
- [0219] 이에 따라, 복수의 평가값을 복합적으로 고려하여, 고장의 전조를 포착할 수 있다.
- [0220] 또한, 본 실시 형태의 로봇 고장 전조 검출 장치(5)에 있어서, 평가값 계산부(52)는, 전류값 시계열 데이터의

제공 평균 제공근 및 최댓값을 계산한다. 단, 제공 평균 제공근 및 최댓값의 한쪽 또는 양쪽 대신에, 값 폭, 주파수 분석 적산값, DTW 거리 및 DTW 거리 평균값 중 어느 것이 계산되어도 된다.

- [0221] 또한, 본 실시 형태의 로봇 고장 전조 검출 장치(5)에 있어서, 평가값 계산부(52)는, 전류값 시계열 데이터의 제공 평균 제공근 및 최댓값을 계산한다. 단, 제공 평균 제공근 및 최댓값의 양쪽 대신에, 2개의 주파수 분석 부분 적산값이 계산되어도 된다. 3종류 이상의 평가값을 취득하도록 구성할 수도 있다. 이 경우, 은닉 마르코프 모델에는, 3차원 이상의 벡터의 계열이 입력되게 된다. 또한, 도 18에 나타내는 바와 같이, 5개의 부분 적산값이 계산되어도 된다.
- [0222] 이에 따라, 전류값 시계열 데이터의 변화를 양호하게 평가할 수 있다.
- [0223] 이어서, 판정용 모델을 사용하지 않고 로봇(1)의 고장 시기를 예측하는 예에 대해서 설명한다. 본 예에서 설명하는 처리는, 도 16에 나타내는 로봇 보수 지원 장치(5a)에 의해 행해진다. 로봇 보수 지원 장치(5a)는, 기본적인 구성은 로봇 고장 전조 검출 장치(5)와 같다. 로봇 보수 지원 장치(5a)는, 전류값 시계열 데이터에 기초하여 구한 평가값의 과거 경향에 기초하여, 평가값의 장래의 변화 양태를 예측하여 표시기(80)에 표시함과 함께, 평가값의 장래의 변화 양태에 기초하여 로봇(1)의 고장 예측일을 구한다. 이하, 도 16 및 도 17을 참조하여 상세하게 설명한다. 도 16은, 표시기(80)에 표시되는 경향 관리 화면의 표시예이다. 도 17은, 참조 일수를 변화시켰을 경우의 예측선의 변화를 나타내는 그래프이다.
- [0224] 도 16의 경향 관리 화면에는, 그래프 표시부(81)와, 평가값 선택부(82)와, 진단 개소 선택부(83)와, 예측일 표시부(84)가 표시되어 있다.
- [0225] 그래프 표시부(81)에 표시되는 그래프의 가로 축은 시간이며, 세로 축은 평가값이다. 평가값을 구하는 방법은 상기 실시 형태와 같다. 또한, 평가값을 구하기 위한 전류값 시계열 데이터는, 로봇(1)에게 도장 등의 실제의 작업을 행하게 하고 있는 동안에 취득해도 되지만, 로봇(1)에게 진단용 동작을 행하게 하고 있는 동안에 취득해도 된다. 진단용 동작이란, 로봇(1)의 상태를 진단하는 것을 목적으로 하여 행하게 하는 동작이다. 또한, 기준선 및 예측선에 대해서는 후술한다.
- [0226] 평가값 선택부(82)는, 그래프 표시부(81)에 표시되는 그래프의 평가값을 선택하기 위한 박스이다. 평가값 선택부(82)에는, I2 모니터, DUTY, PTP, 주파수 분석 적산값이 표시되어 있고, 오퍼레이터는 어느 하나를 선택한다.
- [0227] I2란, 전류값의 제공 평균 제공근이다. 제공 평균 제공근은, 실효값 또는 RMS라고 하는 경우도 있다. 전류값의 제공 평균 제공근은, 교류 성분의 실질 효과를 나타낸다. 그 때문에, I2는, 미세한 수염 성분을 억제한 값이다. 따라서, 감속기의 손실 증대, 즉 효율 저하나 모터의 감자에 따르는 토크 상수의 저하 등의 안정된 검출을 할 수 있다. 또한, DUTY는, 모터의 스톨 전류와 I2의 비율이다. 또한, PTP는, Peak to Peak의 약칭이며, 상술한 "값 폭"을 나타낸다. 즉, PTP는, 전류 파형이 높은 피크의 전류값에서 낮은 피크의 전류값을 감산한 값이다. PTP는, 구하는 것이 용이하며, 또한, 상태를 고정밀도로 추정할 수 있기 때문에 자주 사용되고 있다. 주파수 분석 적산값은, 상술한 바와 같은 값이다. 도 16 및 도 17의 그래프에서는, 평가값으로서 주파수 분석 적산값이 선택되어 표시되어 있다.
- [0228] 진단 개소 선택부(83)는, 로봇(1)의 가동 축 중 진단 대상의 가동 축을 선택하기 위한 박스이다. 진단 개소 선택부(83)에는, 로봇(1)이 갖는 복수의 가동 축이 표시되어 있다.
- [0229] 예측일 표시부(84)에는, 로봇(1)의 고장 예측일이 표시된다. 고장 예측일은, 이하의 기준선 및 예측선에 기초하여 구해진다.
- [0230] 기준선은, 평가값의 역치를 나타낸다. 역치는, 예를 들어 로봇(1)의 가동 초기에 있어서의 실효값 또는 로봇(1)의 적응 운전 후의 초깃값의 120%의 값으로 설정된다. 적응 운전 후의 초깃값의 120%의 값은 일례이며, 120% 이외의 값이어도 된다. 역치는, 경험적으로 결정되어 등록되어도 된다. 또한, 역치는, 변경 가능하다. 또한, 어느 초깃값이든 1개의 데이터로 설정되어도 되지만, 복수의 데이터를 평균한 값을 역치로서 설정해도 된다.
- [0231] 예측선은, 과거에 취득한 평가값에 대하여 최소 제곱법을 적용함으로써 구해진다. 또한, 예측선이 기준선과 교차할 때의 시간이 고장 예측일이다. 오퍼레이터는, 예측선을 봄으로써 직관적으로 로봇(1)의 상태를 파악할 수 있다. 오퍼레이터는, 고장 예측일을 봄으로써, 로봇(1)의 고장 예측에 관한 구체적인 일시를 파악할 수 있다.
- [0232] 고장 예측일까지의 일수가, 미리 설정한 일수(예를 들어 30일)보다도 가까워졌을 경우, 표시기(80)에 경고를 표시해도 된다. 또한, 본 예에서는, 선택된 평가값 및 가동 축에 대해서 예상선이 표시되지만, 선택되어 있지 않

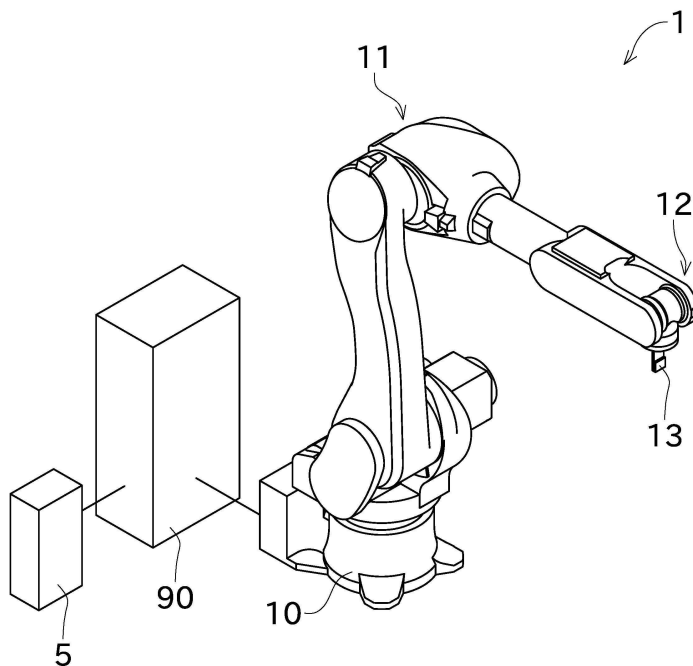
은 평가값 및 가동 축의 조합에 대해서도 고장 예측일을 구하고, 조건을 충족하는 경우에는 표시기(80)에 경고를 표시해도 된다.

- [0233] 이어서, 도 17을 참조하여, 그래프의 표시 양태의 변경에 대해서 설명한다. 도 17에 나타내는 바와 같이, 그래프 표시부(81)의 가로 축 일단부가 묘화 개시일이며, 가로 축의 타단부가 묘화 종료일이다. 묘화 개시일부터 묘화 종료일까지의 기간은, 평가값 및 예측선 등의 표시 기간에 대응한다. 본 예에서는, 묘화 개시일과 묘화 종료일을 변경 가능하다. 예를 들어 현재 일을 기준으로 하여 제1 일수 전을 묘화 개시일로 하고, 현재 일을 기준으로 하여 제2 일수 후를 묘화 종료일로 했을 경우, 이러한 제1 일수와 제2 일수를 독립적으로 변경 가능하다. 이에 따라, 오퍼레이터는, 스스로가 희망하는 범위의 평가값을 파악할 수 있다.
- [0234] 또한, 본 예에서는, 참조 일수에 대해서도 변경 가능하다. 참조 일수란, 예측선을 산출하기 위해서 사용되는 평가값의 범위를 정하는 일수이다. 예를 들어 참조 일수가 10일인 경우, 10일 전부터 현재까지 취득된 평가값에 기초하여 예측선이 구해진다. 참조 일수는, 상술한 제1 일수 및 제2 일수는 독립적으로 변경 가능하다.
- [0235] 이하, 참조 일수가 짧게 변경되어 참조 일수 a가 되었을 경우에 대해서 설명한다. 참조 일수가 짧아졌을 경우, 예측선의 기울기가 변화된다. 또한, 일반적인 경향으로서, 참조 일수가 짧아졌을 경우에는, 예측선의 기울기가 급해진다. 도 17에 있어서도, 예측선 a의 기울기는, 예측선의 기울기보다도 급하다. 예측선의 기울기가 변화되는 결과, 예측선과 기준선이 교차하는 시간이 변화되기 때문에, 고장 예측일이 변화된다. 참조 일수를 변경하는 기능을 가짐으로써, 여러 가지 관점에서 고장 예측일을 구할 수 있다.
- [0236] 또한, 주파수 분석 적산값 대신에, 복수의 부분 적산값을 사용해도 된다. 복수의 평가값에 대응하기 위해서, 경향 관리 기능은 복수개 마련된다. 도 19에는, 부분 적산값에 대응한 예에 있어서 표시되는 경향 관리 화면이 나타내어져 있다. 또한, 도 19에 있어서, 도 16과 같은 기능을 갖는 부분에 대해서는 설명을 생략하는 경우가 있다.
- [0237] 도 19의 평가값 선택부(82A)에는, I2 모니터, DUTY, PTP, 부분 적산값이 표시되어 있다. 부분 적산값의 옆에는, 주파수 대역을 선택하는 폴다운식의 메뉴가 표시되어 있다. 평가값 선택부(82A)를 사용하여 선택 가능한 주파수 대역은, 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, ALL이다. ALL은 모든 부분 적산값을 합계한 것이며, 결과적으로 주파수 분석 적산값과 같은 표시가 된다. 도 19의 표시 방법은 일레이며, 다르게 할 수도 있다. 예를 들어 평가값 선택부(82A)에 주파수 분석 적산값을 더함과 함께, 주파수 대역을 선택하는 메뉴에서 ALL을 생략해도 된다.
- [0238] 기준선은, 평가값의 역치를 나타낸다. 도 16을 사용하여 나타낸 예에서는, 로봇(1)의 적응 운전 후의 초깃값의 120%를 역치로 하는 것을 설명하였다. 도 19를 사용하여 나타내는 예에서는, 주파수 대역에 따라 역치를 변경해도 된다. 예를 들어 주파수 대역이 ALL 또는 0-10인 경우의 역치를 초깃값의 120%로 하고, 주파수 대역이 20-30, 30-40, 40-50인 경우의 역치를 초깃값에 200% 등으로 해도 된다. 또한, 예측선은, 과거에 취득한 평가값 중, 참조 기간분에 대해서, 최소 제곱법을 적용함으로써 구해진다.
- [0239] 또한, 고장 예측일까지의 일수를 계산할 때는, 평가값 및 가동 축에 더하여, 추가로 주파수 대역을 포함하는 임의의 조합에 대해서, 고장 예측일이 계산된다. 또한, 도 19에 나타내는 예에서는, 예측일 표시부(84A)에, 상술한 예측일에 더하여, 종합 예측일이 표시된다. 종합 예측일은, 복수의 부분 적산값에 기초하여 산출되는 복수의 예측일 중 가장 빠른 조합이어도 되고, 다른 종류의 평가값 및 가동 축을 포함시켜 가장 빠른 것이어도 된다. 또한, 종합 예측일까지의 일수가 미리 설정한 일수보다도 가깝게 경고가 표시되어 있을 경우, 종합 예측일에 기재된 일자에 대응하는, 평가값, 주파수 대역 및 가동 축의 조합 화면으로 자동적으로 전환해도 된다. 이 경우, "경고가 표시된 조건으로 전환" 등의 표시를 더함으로써 오퍼레이터에 있어서 화면이 변화된 이유를 알기 쉬워진다.
- [0240] 이와 같이, 로봇 보수 지원 장치(5a)는, 로봇 동작으로부터, 로봇(1)의 가동 축마다 구동 전류의 전류값 시계열 데이터를 취득하는 처리를, 데이터 수집 단위 기간마다 행한다. 로봇 보수 지원 장치(5a)는, 전류값 시계열 데이터의 각각에 대하여, 주파수 해석을 행하여 주파수 스펙트럼을 구하고, 복수의 미리 정한 주파수대에 대하여 주파수 스펙트럼의 부분적인 총합인 부분 적산값을 구한다. 로봇 보수 지원 장치(5a)는, 미리 설정된 참조 기간 내의 복수의 부분 적산값에 기초하여, 각각의 가동 축의 장래의 변화 경향을 추정한다. 또한, 로봇 보수 지원 장치(5a)는, 부분 적산값이 미리 정한 역치에 도달할 때까지의 예측 시간에 기초하여, 각각의 가동 축의 예측 수명을 추정한다. 로봇 보수 지원 장치(5a)는, 예측 수명까지의 시간(일수)에 기초하여 경고를 발할 수도 있다. 경고를 발하는 기능은 필수적인 구성 요소는 아니고, 생략할 수도 있다.

- [0241] 이상으로 본 출원의 적합한 실시 형태를 설명했지만, 상기의 구성은 예를 들어 이하와 같이 변경할 수 있다.
- [0242] Ergodic 은닉 마르코프모델을 사용할 경우, 초기 계열과 판정용 계열에서, 대표 평가값의 수가 달라도 된다. 예를 들어 초기 계열에 있어서의 대표 평가값의 수가 30인데 반해, 판정용 계열에 있어서의 대표 평가값의 수를 50으로 할 수가 있다. 이 경우, 31일째부터 50일째까지는, 계열 처리부(54)가 매일 행하는 판정용 계열의 갱신 처리에서는, 최신의 대표 평가값이 추가될 뿐이다. 51일째 이후는, 최신의 대표 평가값의 추가에 따라, 가장 오래된 대표 평가값이 삭제된다. 판정용 계열의 판정용 모델로의 입력은, 50일째부터 개시 가능해진다. 판정용 계열이 통상보다 짧은 것이 허용된다면, 판정용 계열의 판정용 모델로의 입력을 31일째부터 개시할 수도 있다.
- [0243] 제2 실시 형태의 정규 분포에 기초하는 판정용 모델은, 제5 실시 형태, 및 제6 실시 형태와 조합할 수도 있다.
- [0244] 제3 실시 형태의 DTW법이, 제4 실시 형태, 제5 실시 형태 및 제6 실시 형태와 조합되어도 된다.
- [0245] 표시부(63)에 표시되는 로그 가능도의 그래프는, 상하 반전하여 표시해도 된다. 예를 들어 변환부(61)가 출력하는 로그 가능도에 대하여 -1을 곱하고, 부호를 반전한 값을 표시부(63)로 출력함으로써 상하 반전을 실질적으로 실현할 수 있다. 이 값은, 2개의 계열의 유사도가 낮아짐에 따라 상승하므로, 이상도를 나타내는 값으로서 직관적으로 이해하기 쉽다.
- [0246] 변환부(61)를 생략할 수 있다. 즉, 판정부(55)가 출력할 확률을 로그 변환하지 않는 형태로, 역치와 비교하거나 표시부(63)에 표시하거나 할 수 있다.
- [0247] 로봇 고장 전조 검출 장치(5)는, 컨트롤러(90)와 동일한 하드웨어에 의해 실현할 수도 있다.
- [0248] 본 명세서에서 개시하는 요소의 기능은, 개시된 기능을 실행하도록 구성 또는 프로그램된 범용 프로세서, 전용 프로세서, 집적 회로, ASIC(Application Specific Integrated Circuits), 종래의 회로, 및/또는, 그것들의 조합을 포함하는 회로 또는 처리 회로를 사용하여 실행할 수 있다. 프로세서는, 트랜지스터나 그 밖의 회로를 포함하기 때문에 처리 회로 또는 회로로 간주된다. 본 개시에 있어서, 회로, 유닛, 또는 수단은, 열거된 기능을 실행하는 하드웨어이거나 또는 열거된 기능을 실행하도록 프로그램된 하드웨어이다. 하드웨어는, 본 명세서에 개시되어 있는 하드웨어이어도 되고, 혹은, 열거된 기능을 실행하도록 프로그램 또는 구성되어 있는 그 밖의 기지의 하드웨어이어도 된다. 하드웨어가 회로의 1종이라고 생각되는 프로세서인 경우, 회로, 수단, 또는 유닛은 하드웨어와 소프트웨어의 조합이며, 소프트웨어는 하드웨어 및/또는 프로세서의 구성에 사용된다.

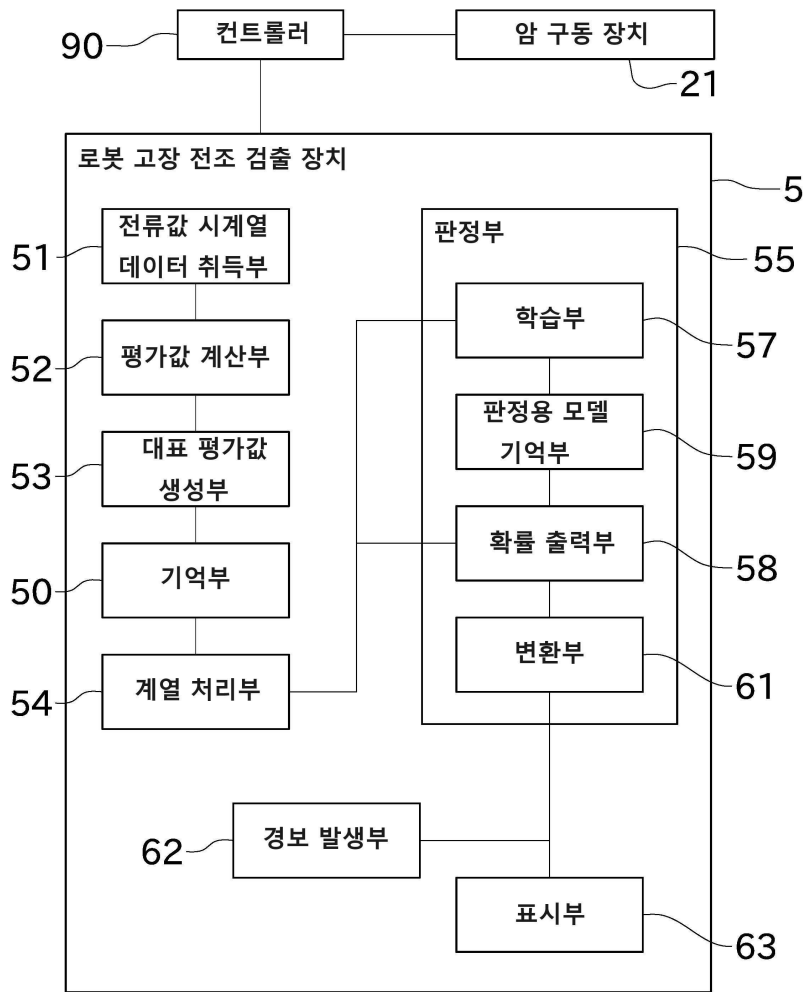
도면

도면1

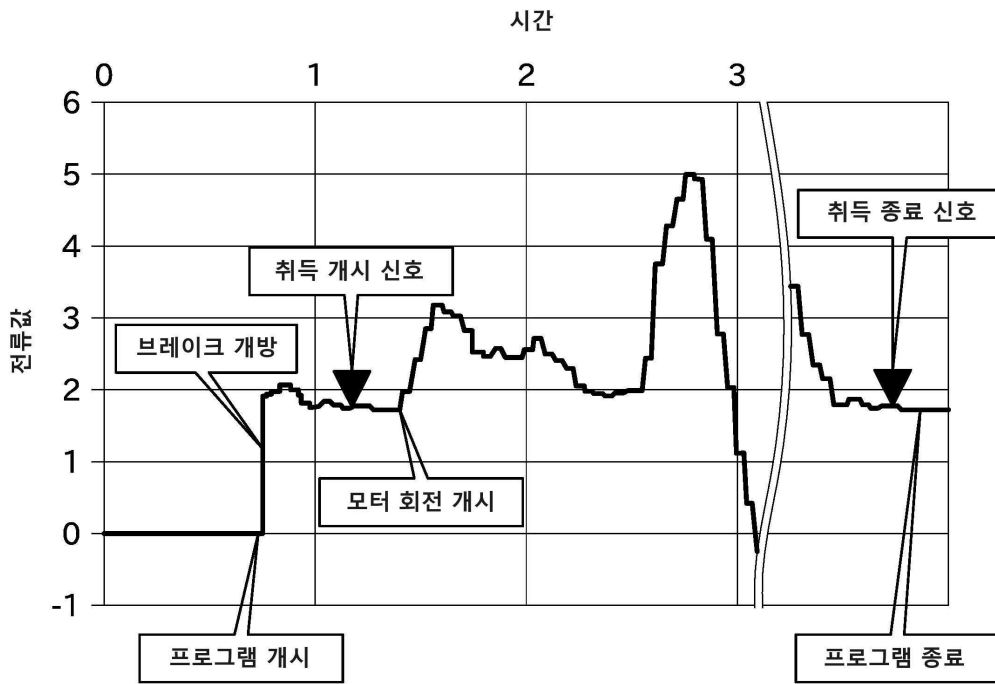


도면2

제1 실시 형태

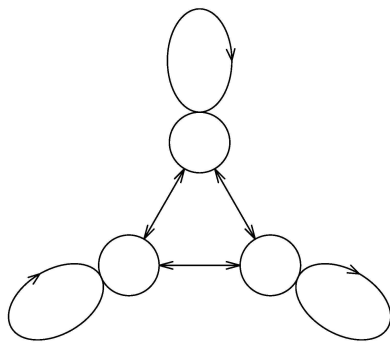


도면3

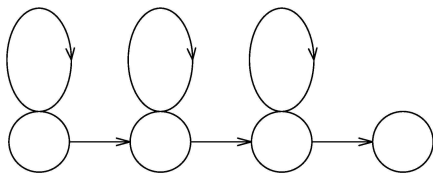


도면4

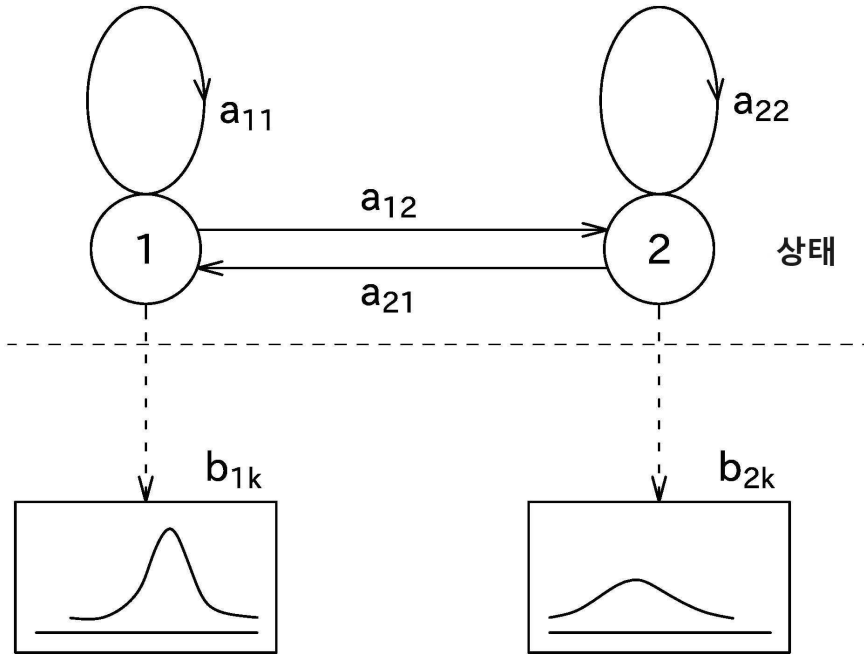
(a)



(b)



도면5



도면6

(a) 초기 계열(30일째)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

(b) 판정용 계열(31일째)

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31

(c) 판정용 계열(32일째)

3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32

(d) 판정용 계열(33일째)

4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33

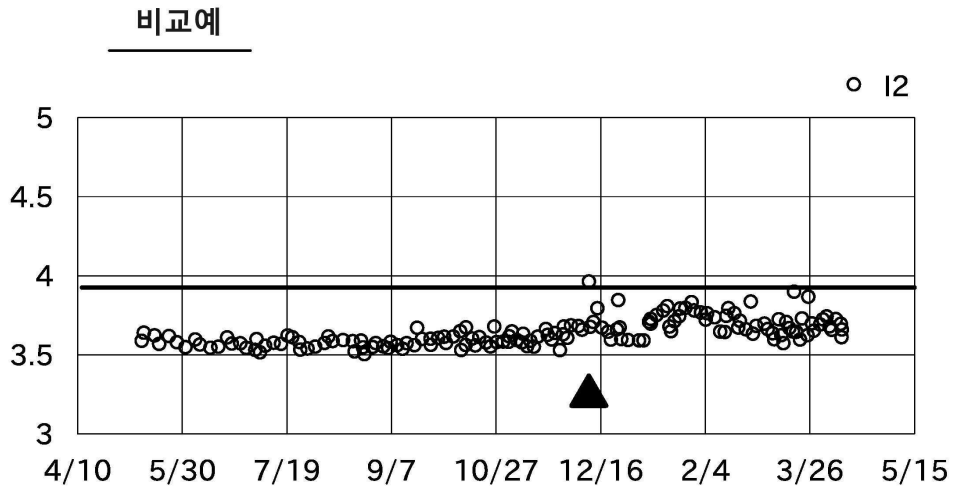
⋮

(e) 판정용 계열(50일째)

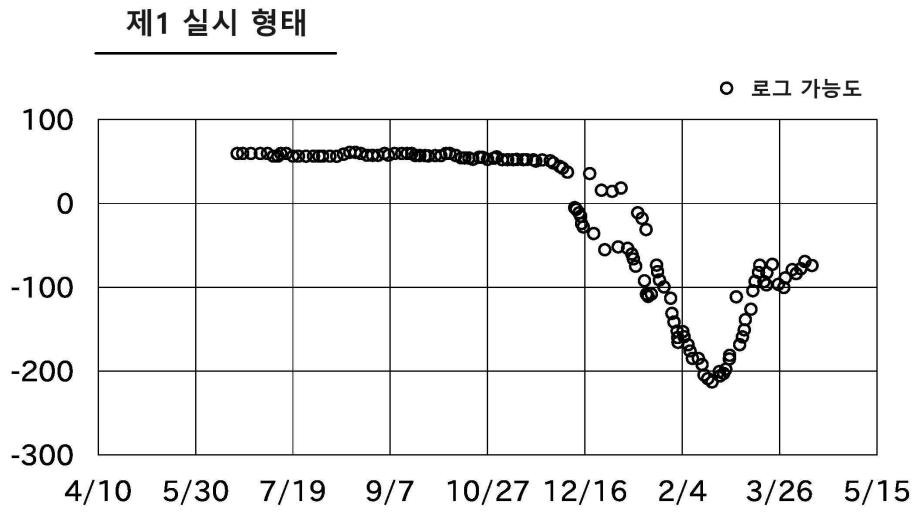
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50

⋮

도면7

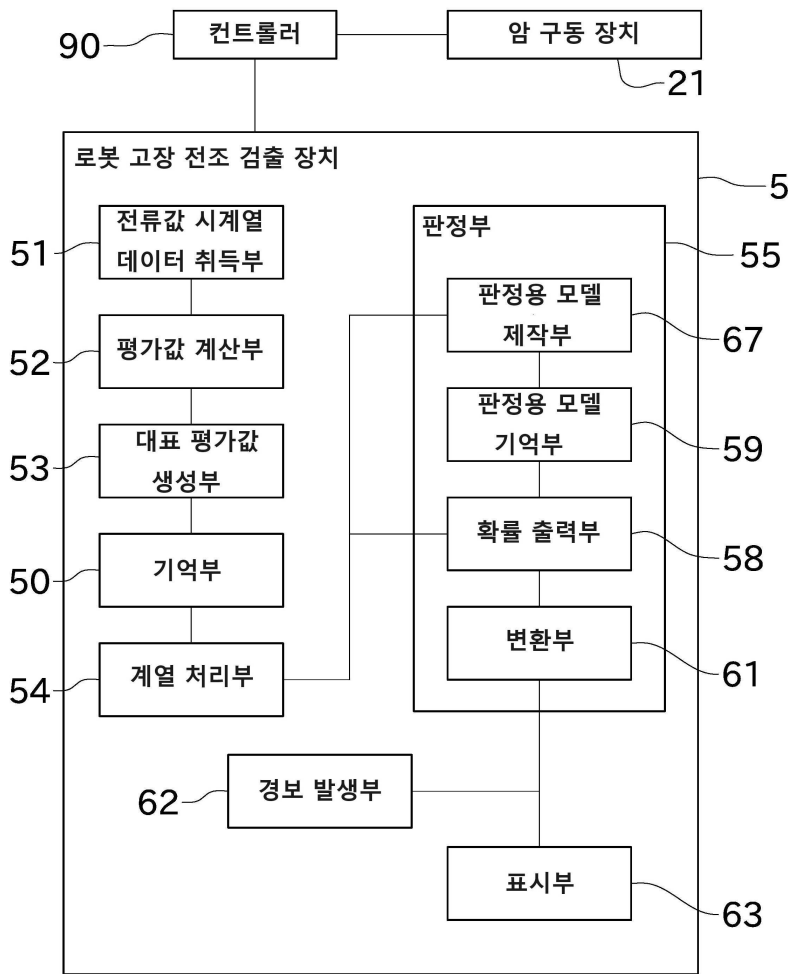


도면8



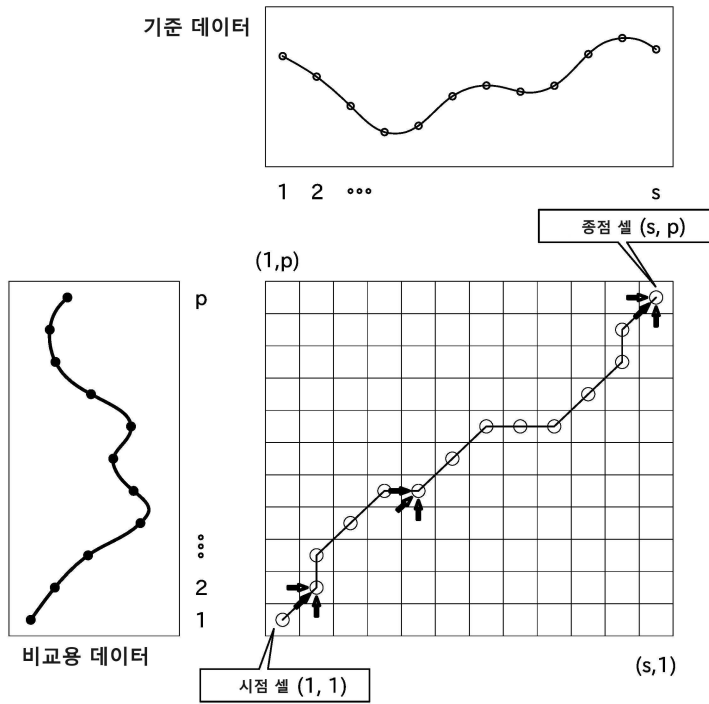
도면9

제2 실시 형태



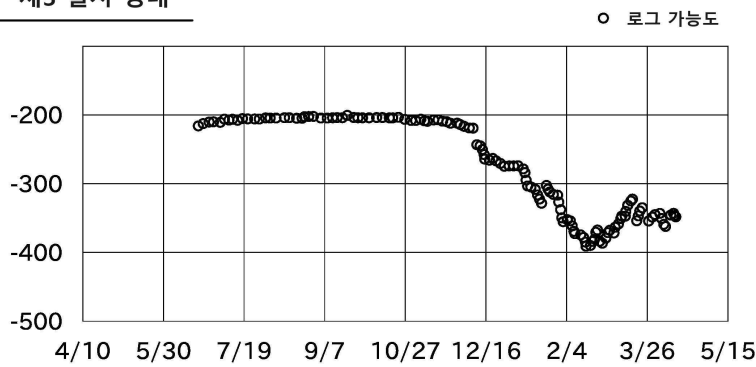
도면10

제3 실시 형태



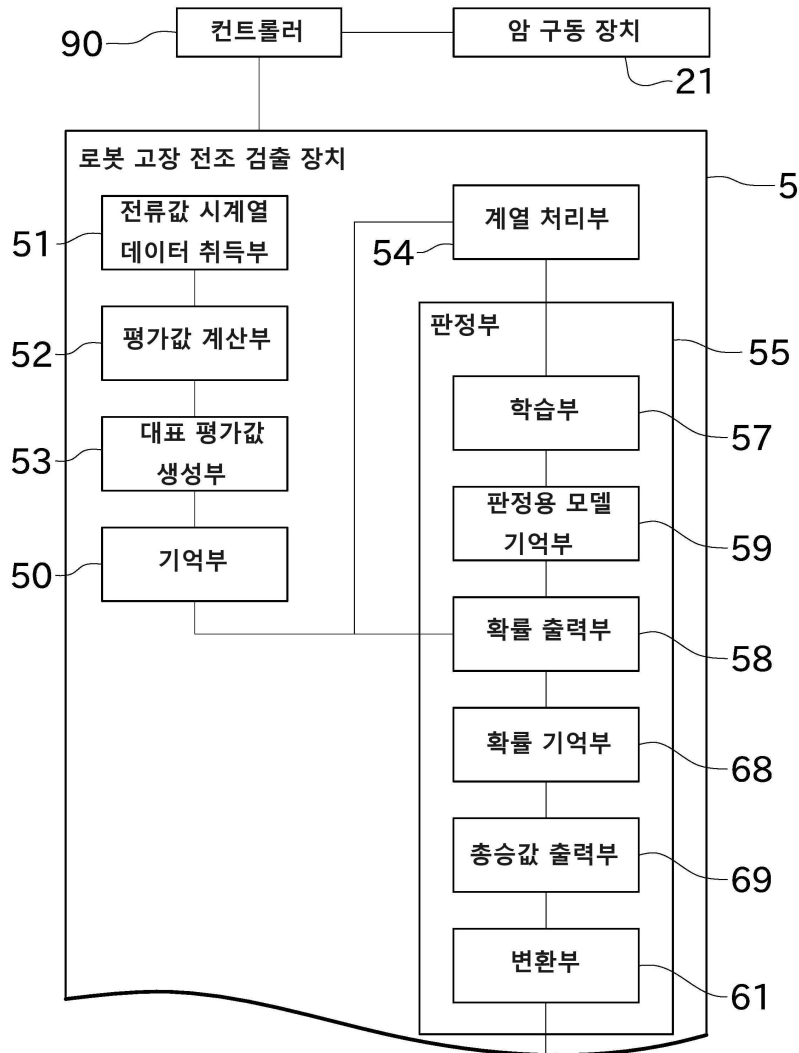
도면11

제3 실시 형태



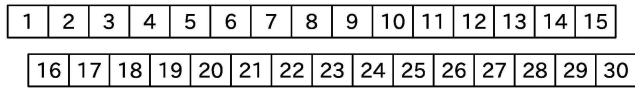
도면12

제4 실시 형태

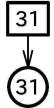


도면13

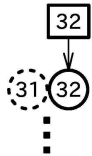
(a) 초기 계열(30일째)



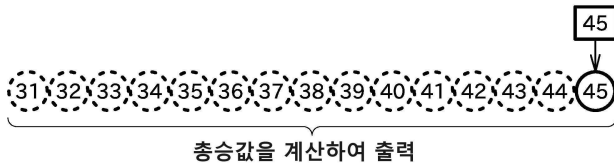
(b) 판정용 데이터와 모델 출력(31일째)



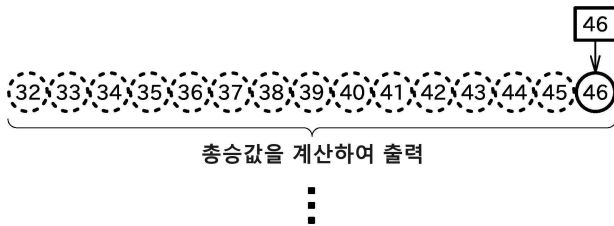
(c) 판정용 데이터와 모델 출력(32일째)



(d) 판정용 데이터와 모델 출력(45일째)

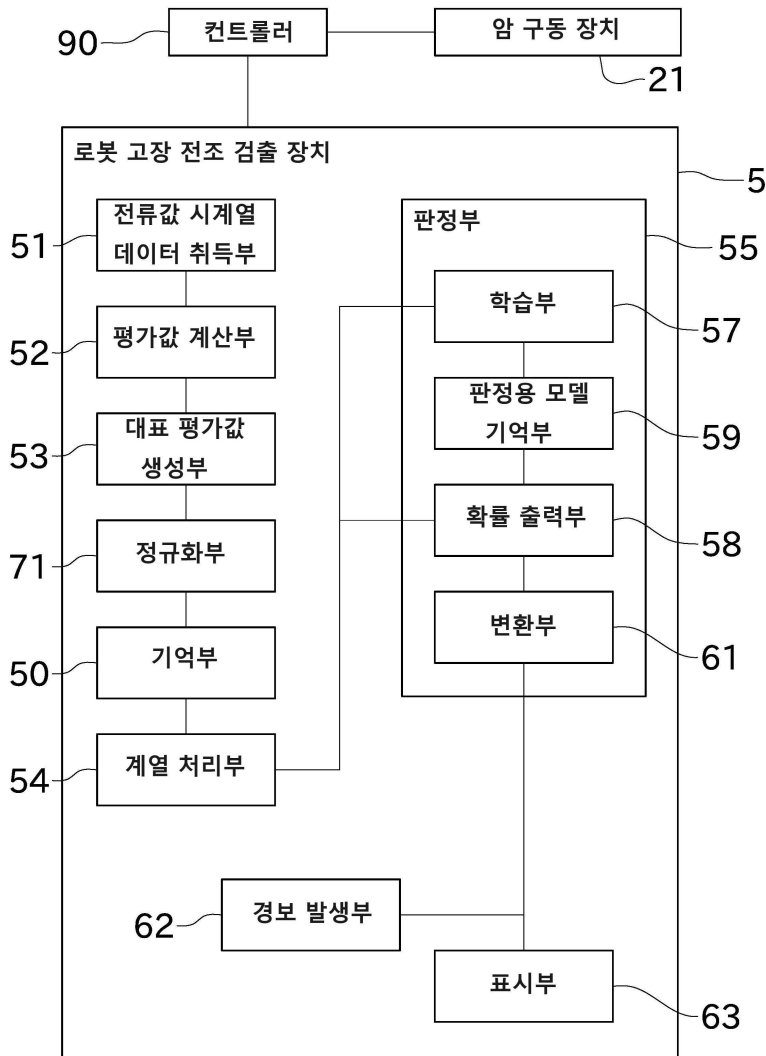


(e) 판정용 데이터와 모델 출력(46일째)



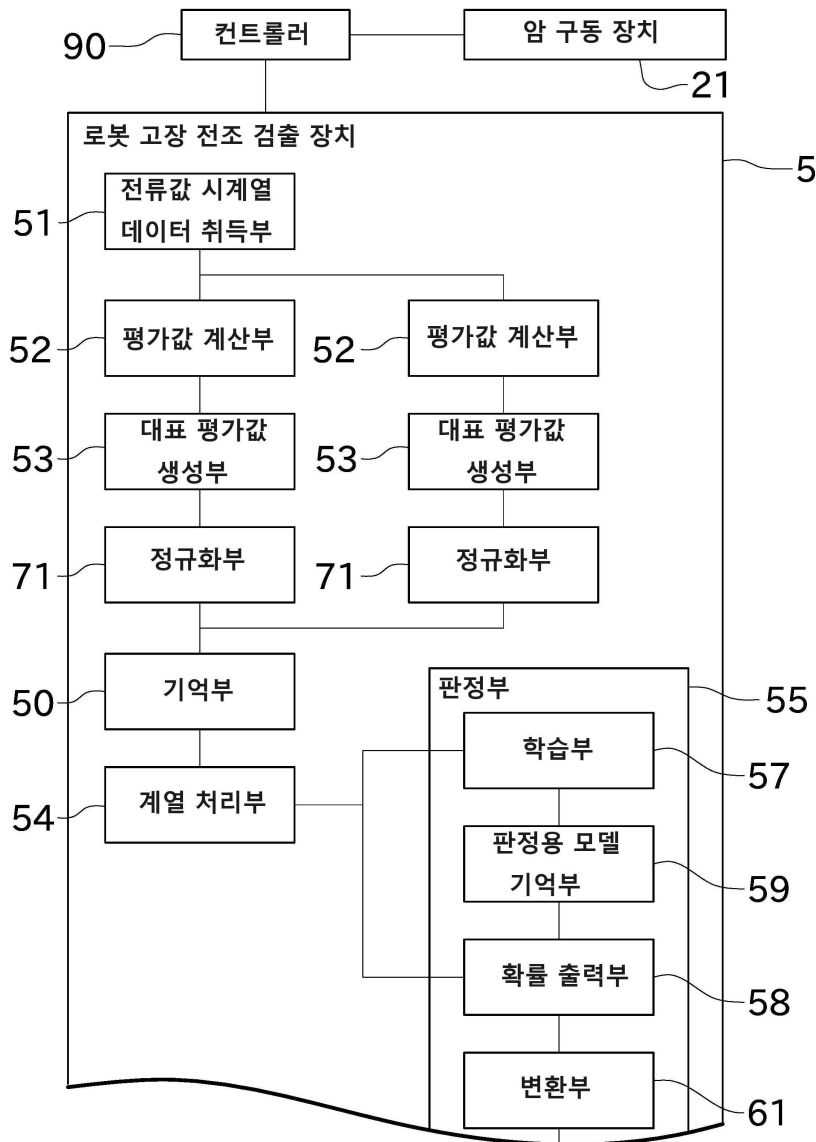
도면14

제5 실시 형태

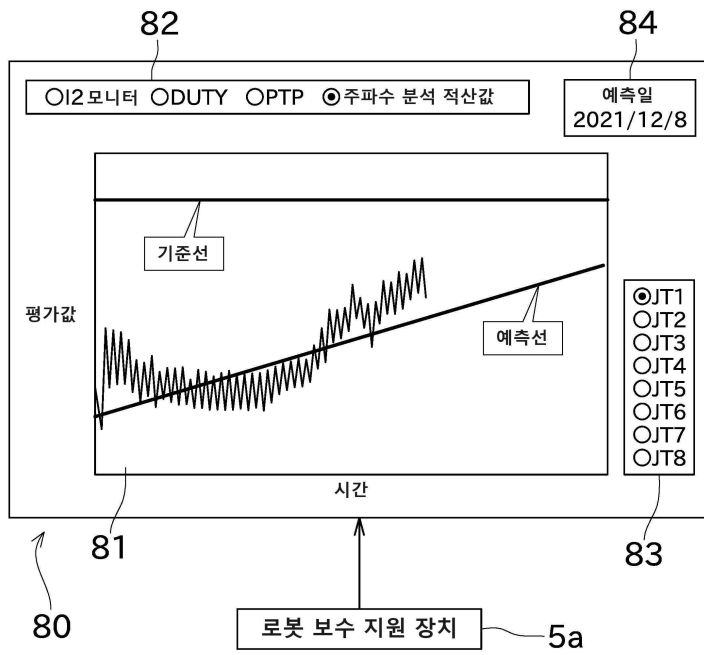


도면15

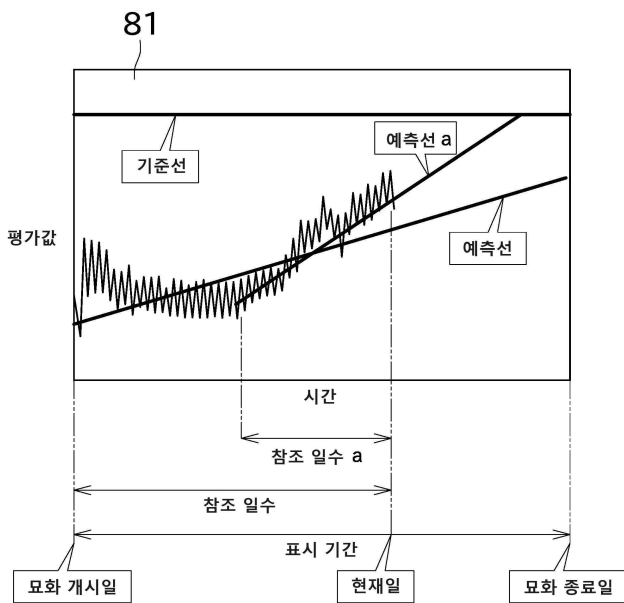
제6 실시 형태



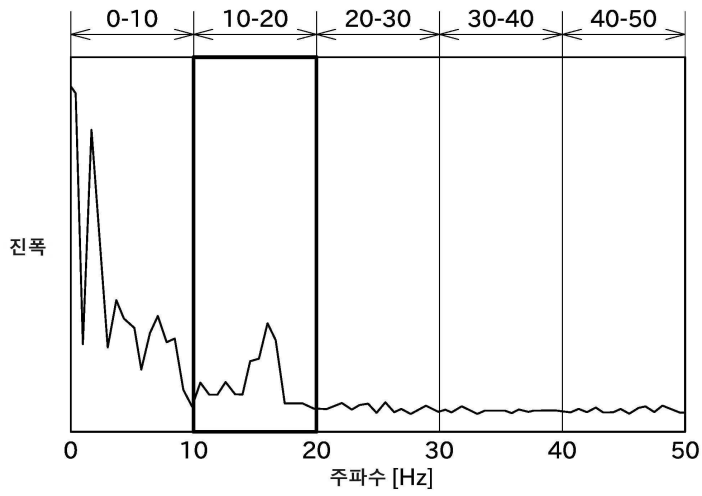
도면16



도면17



도면18



도면19

