

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7268722号
(P7268722)

(45)発行日 令和5年5月8日(2023.5.8)

(24)登録日 令和5年4月25日(2023.4.25)

(51)国際特許分類 F I
G 0 5 B 23/02 (2006.01) G 0 5 B 23/02 3 0 2 N

請求項の数 17 (全22頁)

(21)出願番号	特願2021-508545(P2021-508545)	(73)特許権者	000003997 日産自動車株式会社 神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地
(86)(22)出願日	平成31年3月27日(2019.3.27)	(74)代理人	100083806 弁理士 三好 秀和
(86)国際出願番号	PCT/JP2019/013342	(74)代理人	100101247 弁理士 高橋 俊一
(87)国際公開番号	WO2020/194597	(74)代理人	100095500 弁理士 伊藤 正和
(87)国際公開日	令和2年10月1日(2020.10.1)	(74)代理人	100098327 弁理士 高松 俊雄
審査請求日	令和3年9月1日(2021.9.1)	(72)発明者	田中 康裕 神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産自動車株式会社内
		審査官	稲垣 浩司

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 異常検知装置、及び異常検知方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

可動部を有する機器から取得された時系列データが入力されるセンサ信号入力部と、前記時系列データに基づいて前記機器の異常を検知する第1異常検知部と、前記第1異常検知部により検知された異常を報知する報知制御部と、を有し、前記第1異常検知部は、

特定の時刻での前記時系列データが前記特定の時刻よりも一定時間前での時系列データから増加しているか又は減少しているかを、前記特定の時刻をずらしながら判定して、前記時系列データの増加を第1の一定の数値で示し、及び、前記時系列データの減少を第2の一定の数値で示し、

前記第1の一定の数値と前記第2の一定の数値を積算した積算値に基づいて前記機器の異常を検知することを特徴とする異常検知装置。

【請求項2】

前記第1異常検知部は、前記特定の時刻での時系列データと前記特定の時刻よりも一定時間前での時系列データとの差が第1基準値より大きい場合に増加していると判定し、

前記特定の時刻での時系列データと前記特定の時刻よりも一定時間前での時系列データとの差が前記第1基準値と同じ又は前記第1基準値よりも小さい第2基準値より小さい場合に減少していると判定する

ことを特徴とする請求項 1 に記載の異常検知装置。

【請求項 3】

前記第 1 異常検知部は、

前記特定の時刻での前記時系列データが前記特定の時刻よりも一定時間前での時系列データから増加しているか又は減少しているか、或いは増加も減少もしていないかを、前記特定の時刻をずらしながら、判定して前記増加及び前記減少のいずれでもないことを第 3 の一定の数値で示すことを特徴とする請求項 1 に記載の異常検知装置。

【請求項 4】

前記第 2 基準値は前記第 1 基準値よりも小さく、

前記第 1 異常検知部は、

前記差が前記第 1 基準値以下であり、且つ前記第 2 基準値以上である場合に、増加も減少もしていないと判定する

ことを特徴とする請求項 2 に記載の異常検知装置。

【請求項 5】

前記第 1 の一定の数値及び前記第 2 の一定の数値は、前記差の絶対値に関わらず、予め定めた値にそれぞれ固定されていることを特徴とする請求項 2 に記載の異常検知装置。

【請求項 6】

前記第 1 異常検知部は、

前記積算値の移動平均を算出し、

前記積算値の移動平均に基づいて前記機器の異常を検知する

ことを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の異常検知装置。

【請求項 7】

前記第 2 基準値は前記第 1 基準値に等しく、

前記特定の時刻での前記時系列データが前記特定の時刻よりも一定時間前での時系列データから増加していることを示す前記第 1 の一定の数値は、前記特定の時刻での前記時系列データが前記特定の時刻よりも一定時間前での時系列データから減少していることを示す前記第 2 の一定の数値とは、互いに絶対値が等しく、且つ符号が異なる

ことを特徴とする請求項 2 に記載の異常検知装置。

【請求項 8】

前記第 1 の一定の数値及び前記第 2 の一定の数値は、前記時系列データと一定時間前の時系列データとの差の絶対値に関わらず、予め定めた値にそれぞれ固定されていることを特徴とする請求項 7 に記載の異常検知装置。

【請求項 9】

前記第 1 異常検知部は、

前記時系列データの移動平均を算出し、

特定の時刻での前記時系列データの移動平均が前記特定の時刻よりも一定時間前での時系列データの移動平均から増加しているか又は減少しているかを、前記特定の時刻をずらしながら判定して、前記増加及び前記減少をそれぞれ前記第 1 の一定の数値及び前記第 2 の一定の数値で示す

ことを特徴とする請求項 1 又は 7 に記載の異常検知装置。

【請求項 10】

前記第 1 異常検知部は、

前記積算値の移動平均を算出し、

前記積算値の移動平均に基づいて前記機器の異常を検知する

ことを特徴とする請求項 7 又は 8 に記載の異常検知装置。

【請求項 11】

前記第 1 異常検知部とは異なる方法により前記機器の異常を検知する第 2 異常検知部を更に備え、

前記報知制御部は、前記第 1 異常検知部と前記第 2 異常検知部とを組み合わせ検知された前記機器の異常を報知する

10

20

30

40

50

ことを特徴とする請求項 1 ~ 10 のいずれか一項に記載の異常検知装置。

【請求項 12】

前記第 2 異常検知部は、前記時系列データの確率分布に基づいて前記機器の異常を検知することを特徴とする請求項 11 に記載の異常検知装置。

【請求項 13】

前記第 1 異常検知部又は前記第 2 異常検知部は、前記第 2 異常検知部又は前記第 1 異常検知部により検出された前記異常が発生した時刻又は前記時刻を含む時間帯における前記時系列データに基づいて前記機器の異常を検知することを特徴とする請求項 11 に記載の異常検知装置。

【請求項 14】

前記報知制御部は、前記第 1 異常検知部により検出された前記異常と、前記第 2 異常検知部により検出された前記異常とが同じ時刻又は同じ時間帯に発生している場合、前記機器の異常を報知することを特徴とする請求項 11 に記載の異常検知装置。

【請求項 15】

機械学習を用いて前記時間帯の長さを最適化するパラメータ設定部を更に備えることを特徴とする請求項 13 又は 14 に記載の異常検知装置。

【請求項 16】

機械学習を用いて前記第 1 基準値及び前記第 2 基準値の各々を最適化するパラメータ設定部を更に備えることを特徴とする請求項 2、4 又は 7 に記載の異常検知装置。

【請求項 17】

可動部を有する機器から取得された時系列データを受信し、
特定の時刻での前記時系列データが前記特定の時刻よりも一定時間前での時系列データから増加しているか又は減少しているかを、前記特定の時刻をずらしながら判定して、前記時系列データの増加を第 1 の一定の数値で示し、及び、前記時系列データの減少を第 2 の一定の数値で示し、
前記第 1 の一定の数値と前記第 2 の一定の数値を積算した積算値に基づいて前記機器の異常を検知し、

検知された異常を報知することを特徴とする異常検知方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、異常検知装置、及び異常検知方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、多関節型ロボットの異常判定装置として、特許文献 1 に記載されたものが知られている。特許文献 1 では、ロボットの動作中において所定の周期毎にロボット関節軸の移動位置及び関節軸に加えられる外乱トルクを検出し、検出された移動位置毎の外乱トルクの平均値を演算する。そして、演算した平均値と所定の閾値とを比較し、平均値が閾値を超えている場合に、ロボットが異常であると判定する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開平 9 - 174482 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

外乱トルクは様々な要因により数値が大きく変動する。閾値が一定値に固定されているため、外乱トルクの変化幅が小さい場合、異常又はその予兆を見逃してしまう。逆に、これらを抑制するために閾値を小さい値に設定すると、ロボットが正常である場合でも異常

10

20

30

40

50

と誤判定してしまう。

【 0 0 0 5 】

本発明は、上記課題に鑑みて成されたものであり、その目的は、変化幅の大小に関わらず、継続的に変化する時系列データから機器の異常を精度良く検知する異常検知装置及び異常検知方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 6 】

本発明の一態様は、可動部を有する機器から取得された時系列データに基づいて機器の異常を検知する異常検知装置である。異常検知装置は、特定の時刻での時系列データが特定の時刻よりも一定時間前の時系列データから増加しているか又は減少しているかを、特定の時刻をずらしながら判定して、時系列データの増加又は減少を一定の数値で示し、一定の数値を積算した積算値に基づいて機器の異常を検知する。

10

【発明の効果】

【 0 0 0 7 】

本発明の一態様によれば、変化幅の大小に関わらず、継続的に変化する時系列データから機器の異常を精度良く検知することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 8 】

【図 1】図 1 は、第 1 実施形態に係る異常検知装置 1 0 2、及びその周辺機器の構成を示すブロック図である。

20

【図 2】図 2 は、図 1 の異常検知装置 1 0 2 の動作の一例を示すフローチャートである。

【図 3】図 3 は、図 2 のステップ S 0 2 の詳細な手順の一例を示すフローチャートである。

【図 4】図 4 は、図 2 のステップ S 0 2 の詳細な手順の他の例を示すフローチャートである。

【図 5 A】図 5 A は、外乱トルク (R D 1) の時間変化、及び外乱トルク (R D 1) の移動平均 (A D 1) を示すグラフである。

【図 5 B】図 5 B は、外乱トルク (R D 1) の時間変化、及び外乱トルク (R D 1) から算出された積算値の移動平均 (F D 1) の時間変化を示すグラフである。

【図 5 C】図 5 C は、外乱トルク (R D 2) の時間変化、及び外乱トルク (R D 2) の移動平均 (A D 2) を示すグラフである。

30

【図 5 D】図 5 D は、外乱トルク (R D 2) の時間変化、及び外乱トルク (R D 2) から算出された積算値の移動平均 (F D 2) の時間変化を示すグラフである。

【図 5 E】図 5 E は、外乱トルク (R D 3) の時間変化、及び外乱トルク (R D 3) の移動平均 (A D 3) を示すグラフである。

【図 5 F】図 5 F は、外乱トルク (R D 3) の時間変化、及び外乱トルク (R D 3) から算出された積算値の移動平均 (F D 3) の時間変化を示すグラフである。

【図 6】図 6 は、第 2 実施形態に係る異常検知装置 1 0 2、及びその周辺機器の構成を示すブロック図である。

【図 7】図 7 は、図 6 の異常検知装置 1 0 2 の直列型の動作の一例を示すフローチャートである。

40

【図 8】図 8 は、図 6 の異常検知装置 1 0 2 の並列型の動作の一例を示すフローチャートである。

【図 9 A】図 9 A は、正常モデルデータベース 3 4 に記憶されている評価用正常モデル 6 0 の一例を示すグラフである。

【図 9 B】図 9 B は、第 2 異常検知部 2 7 により算出された外乱トルクの確率分布 6 1 a の一例を示すグラフである。

【図 9 C】図 9 C は、第 2 異常検知部 2 7 により算出された外乱トルクの確率分布 6 1 b の他の例を示すグラフである。

【図 9 D】図 9 D は、図 9 A の評価用正常モデル 6 0 の平均値を、図 9 B の確率分布 6 1 a の平均値 (2 0 0) と一致するように修正した修正後の評価用正常モデル 6 2 a を示す

50

グラフである。

【図 9 E】図 9 E は、図 9 A の評価用正常モデル 6 0 の平均値を、図 9 C の確率分布 6 1 b の平均値 (7 0) と一致するように修正した修正後の評価用正常モデル 6 2 b を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 0 9 】

図面を参照して、実施形態を説明する。図面の記載において同一部分には同一符号を付して説明を省略する。

【 0 0 1 0 】

(第 1 実施形態)

図 1 を参照して、第 1 実施形態に係る異常検知装置 1 0 2、及びその周辺機器 (1 0 1、1 0 3) の構成を説明する。第 1 実施形態に係る異常検知装置 1 0 2 は、ロボット 1 0 1 及びユーザインターフェース 1 0 3 に接続されている。異常検知装置 1 0 2 は、可動部を有する機器の一例としてのロボット 1 0 1 の異常を検知する。ここで、「機器 (ロボット 1 0 1) の異常」とは、機器の動作停止、機器の動作不良、潤滑油の劣化などの、機器の故障、及び機器の正常な動作を阻む種々の要因を含む概念である。「異常を検知する」とは、現在生じている異常のみならず、将来発生する異常を予測すること、及び異常の予兆を検知することが含まれる。

【 0 0 1 1 】

「可動部を有する機器」の一例としてのロボット 1 0 1 は、可動部の一例として 1 又は 2 以上の関節軸を有する生産ロボットである。ロボット 1 0 1 には、例えば、車体の溶接作業などを自動で実行する生産ロボット又は生産機器が含まれる。ロボット 1 0 1 は、関節軸として複数のモータ駆動系を備える。モータ駆動系は、ロボットアームなどの回転機構の駆動源としてサーボモータを備え、サーボモータが減速機 1 4 を介してロボットアームを駆動する。サーボモータを動作させることにより、例えば、ロボットアームの先端に搭載した溶接電極を、加工の対象となる対象物、例えば、金属製のブランク材に接触させて、溶接作業を実施する。「可動部を有する機器」には、溶接作業を行うロボット以外にも、対象物のプレス、塗装、樹脂成形、組み立て、等の各種の作業を実施するロボットが含まれる。

【 0 0 1 2 】

ロボット 1 0 1 には、センサ 1 3 が取り付けられている。具体的には、減速機 1 4 には、トルクセンサが内蔵されている。トルクセンサが内蔵されているのは、減速機に限らず、減速機と連結されたモータであってもよい。センサ 1 3 は、所定の周期で繰り返し、ロボット 1 0 1 の状態を示す様々な物理量を検出して時系列データとして出力する。ロボット 1 0 1 の状態を示す様々な物理量 (以後、単に「物理量」と略する) は、一定間隔毎に観測される。物理量には、ロボット 1 0 1 の異常を判定する為に必要となるモータ駆動系の様々なデータが含まれる。物理量には、例えば、サーボモータの回転角位置、回転速度、消費電力、消費電流、減速機 1 4 から出力されるトルク値、減速機 1 4 の回転機構の振動値が含まれる。センサ 1 3 は、サーボモータ又は関節軸に加わる加速度を検出する加速度センサであってもよく、この場合、時系列データとして加速度の検出値を出力する。

【 0 0 1 3 】

ロボット 1 0 1 は、センサ 1 3 により検出されたトルク値 (トルク検出値) から、減速機 1 4 に発生する外乱トルクを演算する外乱トルク演算部 1 5 を備える。外乱トルクとは、減速機 1 4 を制御する際のトルク指令値と、センサ 1 3 により検出されたトルク検出値との差分を示す。減速機 1 4 が正常であり安定的に動作しているときは、トルク指令値とトルク検出値との差分はほぼ一定となるので、外乱トルクは安定した数値を示す。減速機 1 4 に異常が発生している場合には減速機 1 4 は安定的に動作せず、外乱トルクに変化が生じる。

【 0 0 1 4 】

なお、「外乱トルク」は、ロボット 1 0 1 から取得された時系列データの一例である。

10

20

30

40

50

トルク指令値及びトルク検出値は、それぞれ一定の時間間隔をおいて取得される時系列データであるため、外乱トルクも同様にして時系列データである。センサ13が関節軸又はサーボモータに加わる加速度を検出する加速度センサである場合、ロボット101に取り付けられたセンサ13から取得された時系列データは、「加速度の検出値」となる。

【0015】

ロボット101は、更に、動作制御部12と、通信部11とを備える。動作制御部12は、予め設定された動作プログラムに従ってサーボモータを動作させ、ロボット101に搭載されたロボットアーム及び関節軸が所望の動作を行うように制御する。ロボット101がティーチプレイバック型のロボットである場合、動作制御部12は、ティーチングにより設定された動作プログラムに従ってサーボモータを動作させる。更に、動作制御部12は、ロボット101を稼働させた時の稼働データを通信部11へ出力する。

10

【0016】

通信部11は、ロボット101の稼働データ及び外乱トルク、及びセンサ13で検出された各種のセンサデータを異常検知装置102へ送信する。

【0017】

上記した外乱トルク演算部15及び動作制御部12は、1又は2以上の演算回路により実装することができる。演算回路は、CPU、メモリを備える汎用のマイクロコンピュータ、特定用途向け集積回路(AASIC)、又は、従来型の電気回路により実現可能である。

【0018】

異常検知装置102は、ロボット101との間で通信を行う通信部21と、制御部51と、センサデータベース31と、稼働履歴データベース32と、保全データベース33とを備える。

20

【0019】

通信部21は、ロボット101の通信部11との間で通信を行い、データの送受信を行う。具体的には、通信部21は、ロボット101から、稼働データ、外乱トルク、及び各種のセンサデータを受信する。通信部21は、「センサ信号入力部」の一例である。通信部21は、有線の通信又は無線の通信を行う。例えば、通信部21は、LANケーブルにより通信部11に接続され、近距離無線通信(NFC)により通信部11に接続されている。

30

【0020】

制御部51は、通信部21が受信したデータに基づいて、ロボット101の異常を検知する。制御部51は、CPU(中央処理装置)、RAM及びROMなどのメモリ、及び入出力部を備える汎用のマイクロコンピュータを実現可能である。もちろん、AASIC等の専用のハードウェアを用意して、制御部51を構成することも可能である。また、制御部51を複数のハードウェアにより構成してもよい。

【0021】

制御部51は、第1異常検知部26と、報知制御部23と、パラメータ設定部25とを備える。第1異常検知部26は、通信部21が受信した外乱トルクに基づいて、ロボット101に発生する異常を検知する。

40

【0022】

具体的には、第1異常検知部26は、特定の時刻(t)での外乱トルク(RD_t)が特定の時刻よりも一定時間前($t-k$)の外乱トルク(RD_{t-k})から増加しているか又は減少しているかを判定する。外乱トルクが増加している場合、及び外乱トルクが減少している場合を、それぞれ「一定の数値」で示す。第1異常検知部26は、増加しているか又は減少しているかの判定を、特定の時刻(t)をずらしながら繰り返し行う。よって、「一定の数値」は時系列データとなる。そして、第1異常検知部26は、「一定の数値」を所定時間で積算した積算値を求め、積算値に基づいてロボット101(機器)の異常を検知する。以下に、第1異常検知部26が有する複数の演算処理機能を詳細に説明する。

【0023】

50

[差分演算]

第1異常検知部26は、先ず、差分演算を行う。具体的に、特定の時刻(t)での外乱トルク(RD_t)と特定の時刻よりも一定時間前($t-k$)の外乱トルク(RD_{t-k})との差(x)を算出する。第1異常検知部26は、特定の時刻(t)をずらしながら差(x)を算出する為、差(x)は時系列データである。一定時間(k)は、例えば、30秒~5分である。

【0024】

【数1】

$$x = RD_t - RD_{t-k} \quad \dots (1)$$

10

【0025】

[分類 / 数値化]

次に、第1異常検知部26は、分類 / 数値化の処理を行う。具体的に、第1異常検知部26は、特定の時刻(t)での外乱トルク(RD_t)が特定の時刻よりも一定時間前($t-k$)の外乱トルク(RD_{t-k})から増加しているか又は減少しているかを、特定の時刻(t)をずらしながら判定する。そして、第1異常検知部26は、外乱トルクの増加又は外乱トルクの減少をそれぞれ「一定の数値」で示す。第1異常検知部26は、特定の時刻(t)をずらしながら増加又は減少を判定するため、増加又は減少を示す「一定の数値」もまた時系列データである。例えば、(2)式に示すように、外乱トルクの増加又は外乱トルクの減少を、それぞれ「一定の数値(1、0、-1)」で示す。ここで、第1基準値(p_a)は第2基準値(p_b)に等しい定数、又は、第2基準値(p_b)よりも大きい定数である。

20

【0026】

【数2】

$$f(x) = \begin{cases} 1 & (x > p_a) \\ 0 & (p_a \geq x \geq p_b) \\ -1 & (p_b > x) \end{cases} \quad \dots (2)$$

30

【0027】

特定の時刻(t)での外乱トルク(RD_t)と特定の時刻よりも一定時間前($t-k$)の外乱トルク(RD_{t-k})との差(x)が、第1基準値(p_a)よりも大きい場合、第1異常検知部26は、外乱トルクは増加していると判定して「 $f(x) = 1$ 」を出力する。差(x)が、第2基準値(p_b)よりも小さい場合、第1異常検知部26は、外乱トルクは減少していると判定して「 $f(x) = -1$ 」を出力する。差(x)が第1基準値(p_a)以下であり、且つ前記第2基準値(p_b)以上である場合、第1異常検知部26は、外乱トルクは増加も減少もしていないと判定して「 $f(x) = 0$ 」を出力する。

40

【0028】

(2)式の代わりに、(3)式を用いてもよい。この場合、第1異常検知部26は、差(x)が、第1基準値(p_a)以上である場合、第1異常検知部26は、外乱トルクは増加していると判定して「 $f(x) = 1$ 」を出力する。差(x)が、第1基準値(p_a)よりも小さい場合、第1異常検知部26は、外乱トルクは減少していると判定して「 $f(x) = -1$ 」を出力する。第1異常検知部26は、外乱トルクは増加も減少もしていないと判定することはなく、「 $f(x) = 0$ 」を出力しない。即ち、増加又は減少のいずれか一方が判断される。即ち、第1異常検知部26は、外乱トルクの時間変化、即ち差(x)を符号化することができる。なお、第1基準値(p_a)が第2基準値(p_b)に等しい場合

50

、(3)式と同様にして、実質的に外乱トルクの時間変化(x)を符号化することができる。なぜなら、差(x)が第1基準値(p_a)である時だけ「f(x) = 0」が出力されるからである。

【0029】

【数3】

$$f(x) = \begin{cases} 1 & (x \geq p_a) \\ -1 & (p_a > x) \end{cases} \quad \dots (3)$$

10

【0030】

[後処理/特徴量抽出]

次に、第1異常検知部26は、後処理を行う。具体的に、第1異常検知部26は、「一定の数値」を所定時間(積算時間)で積算した積算値を求める。第1異常検知部26は、この積算値の移動平均(FD1)を特徴量として抽出する。第1異常検知部26は、積算値の移動平均(FD1)と所定のしきい範囲とを比較することにより、ロボット101の異常を検知する。つまり、第1異常検知部26は、図5Bにおいて、移動平均(FD1)がゼロを含むしきい範囲から超えた場合に、ロボット101に異常があると判断する。所定のしきい範囲は、ゼロを含む-1~+1の範囲に設定される。

20

【0031】

以上説明したように、第1異常検知部26は、外乱トルクの差(x)を、その絶対値に関わらず、予め定めた数値に固定されている「一定の数値」に変換し、変換された「一定の数値」を積算した積算値に基づいてロボット101の異常を判定する。これにより、第1異常検知部26は、外乱トルクの差(x)の絶対値に依存せず、外乱トルクの継続的な増加又は減少、即ち、継続的な傾向(トレンド)に応じて、異常を判定することができる。よって、ノイズやトルク検出値の変化幅が大きい場合であっても、微小且つ継続的な増加又は減少を見逃すことなく、継続的に変化する外乱トルクからロボット101の故障を精度良く検出することができる。

【0032】

報知制御部23は、第1異常検知部26により検知されたロボット101の異常を、ロボット101の使用者に報知する。具体的には、使用者が保持するタブレット端末、スマートフォンなどの移動通信機に、異常判定の結果又は警告を表示したり、警報を発する。

30

【0033】

パラメータ設定部25は、第1異常検知部26による異常判定処理において使用する種々のパラメータを設定する。具体的に、パラメータ設定部25は、差分演算における「一定時間(k)」、分類/数値化の処理における「第1基準値(p_a)」及び「第2基準値(p_b)」、後処理における「積算時間」、特徴量抽出処理における「所定のしきい範囲」を、設定する。パラメータ設定部25は、これらのパラメータを設定する際に、アンサンブル学習などの機械学習法を用いて、これらのパラメータを最適化してもよい。

40

【0034】

センサデータベース31は、通信部21が受信した外乱トルクを一時的に記憶する記憶装置である。外乱トルクに限らず、サーボモータの回転角位置、回転速度、消費電力、電流、減速機14の回転機構に発生する振動値を含む、ロボット101の状態を示す様々な物理量として検出された全てのセンサデータは、センサデータベース31に記憶される。第1異常検知部26は、異常の検知を行う際に、センサデータベース31に記憶された外乱トルクを読み出す。

【0035】

稼働履歴データベース32は、通信部21が受信した稼働データを一時的に記憶する記憶装置である。稼働履歴データベース32は、稼働データとして、ロボット101の稼働

50

日、稼働を開始した時刻、稼働を停止した時刻、連続して稼働した時間、を含む稼働に関する各種のデータを記憶する。

【 0 0 3 6 】

保全データベース 33 は、異常が発生し、又は異常の発生が予測されたロボット 101 に対して保全を実施した場合、その保全の内容を示す保全データを記憶する。保全データは、ユーザインターフェース (UI) 103 によりロボット 101 の操作者が入力することができる。保全データには、保全を実施したロボット 101 の識別番号、保全を実施した日時、保全の内容 (交換、修理、グリスの更油など) が含まれる。

【 0 0 3 7 】

ユーザインターフェース (UI) 103 は、例えば、タブレット端末、スマートフォンなどの移動通信機であり、使用者が各種の入力操作を行う操作機能、及び、各種のデータを使用者に提示する提示機能を備える。ユーザインターフェース (UI) 103 は、報知制御部 23 により発報された警報、報知制御部 23 から送信された異常判定の結果、又は異常を知らせる警告を、ディスプレイに表示し、又は、音声で使用者に知らせる。

10

【 0 0 3 8 】

図 2 を参照して、図 1 の異常検知装置 102 を用いた異常検知方法の一例について説明する。まず、ステップ S01 において、通信部 21 は、ロボット 101 に取り付けられたセンサ 13 及び外乱トルク演算部 15 により算出された外乱トルクを、ロボット 101 の通信部 11 から受信する。

【 0 0 3 9 】

ステップ S02 へ進み、第 1 異常検知部 26 は、通信部 21 が受信した外乱トルクに基づいて、ロボット 101 に発生する異常を検知する。ステップ S02 の詳細な手順は、図 3 及び図 4 を参照して後述する。

20

【 0 0 4 0 】

第 1 異常検知部 26 によりロボット 101 に異常が検知された場合 (ステップ S03 で YES)、ステップ S04 へ進み、報知制御部 23 は、第 1 異常検知部 26 により検知されたロボット 101 の異常を、ロボット 101 の使用者に報知して、図 2 のフローチャートは終了する。第 1 異常検知部 26 によりロボット 101 に異常が検知されない場合 (ステップ S03 で NO)、ステップ S04 は実施せずに、図 2 のフローチャートは終了する。

【 0 0 4 1 】

[第 1 異常検知部 26 による異常検知方法 (その 1)]

図 3 を参照して、図 2 のステップ S02 の詳細な手順の一例を説明する。まず、ステップ S201 において、第 1 異常検知部 26 は、まず、差分演算を行う。具体的に、(1) 式に示すように、特定の時刻 (t) での外乱トルク (RD_t) と特定の時刻よりも一定時間前 ($t - k$) の外乱トルク (RD_{t-k}) との差 (x) を、特定の時刻 (t) をずらしながら繰り返し算出する。

30

【 0 0 4 2 】

ステップ S202 へ進み、第 1 異常検知部 26 は、差 (x) を分類する。具体的に、(2) 式に従い、第 1 異常検知部 26 は、差 (x) を、以下の < 区分 1 > ~ < 区分 3 > のいずれか 1 つに分類する。

40

【 0 0 4 3 】

- < 区分 1 > 第 1 基準値 (p_a) よりも大きい、
- < 区分 2 > 第 2 基準値 (p_b) よりも小さい、
- < 区分 3 > 第 1 基準値 (p_a) 以下であり、且つ前記第 2 基準値 (p_b) 以上である。

【 0 0 4 4 】

< 区分 1 > は、特定の時刻 (t) での外乱トルク (RD_t) が特定の時刻よりも一定時間前 ($t - k$) の外乱トルク (RD_{t-k}) から増加していることを示し、< 区分 2 > は、減少していることを示し、< 区分 3 > は、増加も減少もしていないことを示す。

【 0 0 4 5 】

ステップ S203 へ進み、第 1 異常検知部 26 は、上記した分類結果に基づき、差 (x)

50

)を数値化する。具体的に、第1異常検知部26は、(2)式に従い、<区分1>~<区分3>に対して、「一定の数値」として、1、0、-1を割り当てる。<区分1>に分類された差(x)に対して「1」を割り当て、<区分2>に分類された差(x)に対して「-1」を割り当て、<区分3>に分類された差(x)に対して「0」を割り当てる。

【0046】

ステップS204へ進み、第1異常検知部26は、後処理を行う。具体的に、第1異常検知部26は、「一定の数値」を所定時間(積算時間)で積算した積算値を求める。ステップS205へ進み、第1異常検知部26は、この積算値の移動平均(FD1)を特徴量として算出する。ステップS206へ進み、第1異常検知部26は、積算値の移動平均(FD1)と所定のしきい範囲とを比較することにより、ロボット101の異常を検知する。第1異常検知部26は、図5Bにおいて、移動平均(FD1)が所定のしきい範囲から超えた場合に、ロボット101に異常があると判断する。

10

【0047】

[第1異常検知部26による異常検知方法(その2)]

図4を参照して、図2のステップS02の詳細な手順の他の例を説明する。図3と比較すると、図4に示す異常検知方法は、ステップS201、S204~S206が図3と一致し、図3のステップS202、S203の代わりに、ステップS211を実施する点が異なる。よって、ステップS211について説明する。

【0048】

ステップS211では、符号化処理を行う。具体的に、(3)式に従い、第1異常検知部26は、差(x)を、以下の<区分4>又は<区分5>に分類する。

20

【0049】

<区分4>第1基準値(p_a)と等しい、又は第1基準値(p_a)よりも大きい、
<区分5>第1基準値(p_a)よりも小さい。

【0050】

<区分4>は、特定の時刻(t)での外乱トルク(RD_t)が特定の時刻よりも一定時間前($t-k$)の外乱トルク(RD_{t-k})から増加していることを示し、<区分5>は、減少していることを示す。<区分3>は、ステップS211では、ステップS202とは異なり、「増加も減少もしていない」という判定結果はない。

【0051】

続いて、第1異常検知部26は、上記した分類結果に基づき、差(x)を符号化する。具体的に、第1異常検知部26は、(3)式に従い、<区分4>及び<区分5>に対して、「一定の数値」として、1、-1を割り当てる。<区分4>に分類された差(x)に対して「1」を割り当て、<区分5>に分類された差(x)に対して「-1」を割り当てる。

30

【0052】

このように、外乱トルクの時間変化を、3つの区分(増加/減少/変化無し)又は2つの区分(増加/減少)に分類し、各々の区分に対して、「一定の数値」を割り当てる。これにより、外乱トルクの時間変化の大きさに依存しない、継続的な傾向を数値化又は符号化することができる。勿論、ここで示した区分の数(3つ、2つ)は例示であり、これに限定されるものではない。例えば、(2)式及び(3)式とは異なる式に従い、4つ又は5つの区分に分類してもよい。また、各々の区分(増加/減少/変化無し)に割り当てた「1」、「-1」、「0」は一例であり、予め定められた固定値であれば、他の数値であってもよい。

40

【0053】

以上説明したように、第1実施形態によれば、以下の作用効果を得ることができる。

【0054】

機器の異常は、対象物(機器)から出力される時系列データの中で、いつもと異なるパターンを特定することにより、検出することができる。一般的に、機器に搭載されたセンサを用いて抽出された時系列データは異常に対応する特徴的なパターンを有すると同時に、異常に対応しない様々な特徴のパターン(ここではノイズという)を有することが多い。

50

【 0 0 5 5 】

対象物（機器）としての生産設備及び車両など産業機械では、摩耗・劣化といった経時変化や機械損傷などが発生する。このため、生産設備及び産業機械の突然の故障による停止を未然に防ぐために、定期的な点検及び部品交換などのメンテナンスが行われる。しかし、生産設備及び産業機械に、いったん故障による停止が発生してしまうと、原因究明、交換部品の手配又は製作、更には大規模な修理の実施も必要となるため、生産設備及び産業機械のダウンタイムが長くなってしまふ。

【 0 0 5 6 】

例えば、自動車の生産には、非常に多くのロボットが用いられている。これらロボットの内、1台でも故障してしまうと、生産ラインの全体もしくは一部が長時間にわたり停止し、巨額の損失が発生する可能性がある。このような長時間に亘る生産停止を防止するため、ロボットの異常を精度良く検知する必要がある。

10

【 0 0 5 7 】

生産ラインで使用される複数の関節軸を備える多関節型ロボットは、その関節軸に減速機を有する。減速機に内蔵されたトルクセンサのデータを活用し、減速機の故障診断用パラメータとしてトルクの制御指令値と実測値の差分である外乱トルクを用いた異常検出の手法がある。この手法では、外乱トルクの所定期間の平均値や分散値などの統計量を求め、予め設定された閾値を比較し、異常を判定することにより故障を予測している。

【 0 0 5 8 】

しかし、例えば、グリスの粘度変化の影響や、ロボットの動作変更により代表されるメンテナンスの影響などの種々の要因により、外乱トルクが大きく変動する。その一方で、異常の発生による外乱トルクの変化幅は、僅かであることが多い。このため、許容範囲を広く設定すると、検出しなければならない異常を見逃してしまう。その一方で、許容範囲を狭めてしまうと、正常であるのに異常であると誤って判定してしまう。

20

【 0 0 5 9 】

第1実施形態に関わる異常検知装置及び異常検知方法は、特定の時刻（ t ）での外乱トルク（ RD_t ）が特定の時刻よりも一定時間前（ $t - k$ ）の外乱トルク（ RD_{t-k} ）から増加しているか又は減少しているかを、特定の時刻（ t ）をずらしながら、判定して外乱トルクの増加及び減少をそれぞれ一定の数値で示し、一定の数値を積算した積算値に基づいてロボット101の異常を検知する。これにより、時系列データ（外乱トルク）の変化幅の大小に関わらず、継続的な変化を検出することでできる。よって、ノイズやセンサ信号の変化幅の大きい中から、微小だが継続的な外乱トルクの変化を精度良く抽出し、ロボット101の故障を精度良く検知することができる。

30

【 0 0 6 0 】

図5Aに示すように、外乱トルク（ RD_1 ）が微小だが継続的に減少している場合、外乱トルク（ RD_1 ）又はその移動平均（ AD_1 ）としきい値とを対比しても、微小だが継続的な外乱トルク（ RD_1 ）又はその移動平均の減少（ AD_1 ）を、抽出することは難しい。なぜなら、微小な変化幅に対してノイズの方が大きいからである。これに対して、図5Bに示すように、外乱トルク（ RD_1 ）の継続的な変化を「一定の数値」で置き換え、「一定の数値」の積算値（ FD_1 ）としきい値とを対比することにより、微小だが継続的な外乱トルク（ RD_1 ）又はその移動平均（ AD_1 ）の減少を、抽出することができる。

40

【 0 0 6 1 】

更に、図5Cに示すように、外乱トルク（ RD_1 ）が大きく減少する場合、その減少が継続していれば、当該減少はノイズではないと判断できる。よって、図5Dに示すように、「一定の数値」の積算値（ FD_2 ）としきい値とを対比することにより、継続的な外乱トルク（ RD_2 ）又はその移動平均（ AD_2 ）の減少を、抽出することができる。

【 0 0 6 2 】

一方、図5Eに示すように、外乱トルク（ RD_3 ）が大きく減少する場合であっても、その減少が一時的であり、継続していなければ、当該減少はノイズである恐れがある。この場合、図5Fに示すように、「一定の数値」の積算値（ FD_3 ）の変化幅は、図5B及

50

び図5Dに比べて小さい。よって、第1異常検知部26は、積算値(FD3)としきい値とを対比することにより、一時的な外乱トルク(RD3)又はその移動平均(AD3)の減少を、排除することができる。よって、第1異常検知部26は、図5Eのような一時的な外乱トルク(RD3)の減少を、その減少幅に関わらず、ノイズとして捉えて、異常とは判断しない。

【0063】

第1異常検知部26は、特定の時刻(t)での外乱トルク(RD_t)と特定の時刻よりも一定時間前($t-k$)の外乱トルク(RD_{t-k})との差(x)が第1基準値(p_a)より大きい場合に増加していると判定する。第1異常検知部26は、差(x)が第1基準値(p_a)と同じ又は第1基準値(p_a)よりも小さい第2基準値(p_b)より小さい場合に減少していると判定する。差(x)を用いて、外乱トルクの増加/減少を判断することができる。

10

【0064】

第1異常検知部26は、更に、特定の時刻(t)での外乱トルク(RD_t)が特定の時刻よりも一定時間前($t-k$)の外乱トルク(RD_{t-k})から増加も減少もしていないことを判定し、増加及び減少のいずれでもないことを一定の数値で示してもよい。外乱トルクのノイズ部分を除去することができる。

【0065】

第1異常検知部26は、差(x)が第1基準値(p_a)以下であり、且つ第2基準値(p_b)以上である場合に、外乱トルクは増加も減少もしていないと判定する。差(x)を用いて、外乱トルクの増加/減少を判断することができる。

20

【0066】

一定の数値は、差(x)の絶対値に関わらず、予め定めた値に固定されている。これにより、外乱トルクの大きな変化だけでなく、継続的なわずかな変化をも検出することができる。

【0067】

(2)式に示したように、特定の時刻(t)での外乱トルク(RD_t)が特定の時刻よりも一定時間前($t-k$)の外乱トルク(RD_{t-k})から増加していることを示す一定の数値($f(x)=1$)と、特定の時刻(t)での外乱トルク(RD_t)が特定の時刻よりも一定時間前($t-k$)の外乱トルク(RD_{t-k})から減少していることを示す一定の数値($f(x)=-1$)とは、互いに絶対値が等しく、且つ符号が異なる。増加/減少の絶対量を排除して増加/減少の傾向だけを抽出することができる。

30

【0068】

第1異常検知部26は、ステップS205の特徴量抽出処理において、積算値の移動平均(FD1)を特徴量として算出する。そして、第1異常検知部26は、積算値の移動平均(FD1)に基づいてロボット101の異常を検知する。微小だが継続的な外乱トルクの変化を精度良く抽出し、ロボット101の故障を精度良く検知することができる。

【0069】

パラメータ設定部25は、アンサンブル学習などの機械学習を用いて第1基準値及び前記第2基準値の各々を最適化する。これにより、増加も減少もしていない外乱トルクの範囲を最適化することができる。パラメータ設定部25は、積算値の移動平均をとる時間の長さをアンサンブル学習などの機械学習を用いて最適化してもよい。

40

【0070】

(変形例)

差分演算(ステップS201)において、第1異常検知部26は、外乱トルクの移動平均を算出し、特定の時刻(t)での外乱トルクの移動平均と特定の時刻よりも一定時間前($t-k$)の外乱トルクの移動平均との差(x')を、特定の時刻(t)をずらしながら繰り返し算出してもよい。つまり、外乱トルク(RD)自体を使う代わりに、外乱トルク(RD)の移動平均を用いてもよい。例えば、図5A、5C、5Eに示すように、ノイズ成分が大きい外乱トルク(RD1、RD2、RD3)の代わりに、ノイズ成分を除去した移

50

動平均 (AD1、AD2、AD3) を使用して、差 (x') を算出することができる。差 (x') からノイズ成分を除去することができるので、より精度良く故障を検知することができる。パラメータ設定部25は、外乱トルクの移動平均をとる時間の長さをアンサンブル学習などの機械学習を用いて最適化してもよい。

【0071】

(第2実施形態)

第2実施形態では、異なる2つの異常検知アルゴリズムを組み合わせた異常検知装置及び異常検知方法について説明する。図6に示すように、第2実施形態に関わる異常検知装置102は、図1の異常検知装置102に比べて、次の2つの点で相違する。第1に、制御部51が第2異常検知部27を更に備える。第2に、異常検知装置102が正常モデルデータベース34を更に備える。

10

【0072】

第2異常検知部27は、第1異常検知部26とは異なる異常検知アルゴリズムによって、ロボット101の異常を検知する。第2異常検知部27の異常検知アルゴリズムは、いずれの既知のアルゴリズムであってもよい。

【0073】

[確率分布を用いた異常検知]

例えば、第2異常検知部27は、外乱トルクの確率分布(確率密度分布を含む)に基づいて、異常を検知可能である。第2異常検知部27は、センサデータベース31から所定期間における外乱トルク(時系列データ)を読み出し、読み出した外乱トルクに基づいて、確率分布を演算する。具体的に、第2異常検知部27は、現在から所定の時間(例えば、12時間)だけ遡った期間を所定期間に設定し、例えば、周知のカーネル密度推定を用いて、所定期間における外乱トルクの確率分布を算出する。

20

【0074】

正常モデルデータベース34には、外乱トルクの平均値をゼロとした、評価用正常モデルを記憶している。評価用正常モデルの作成方法として、分散と平均値を用いたt分布、正規分布を用いることができる。また、ヒストグラムを用いることもできる。第2異常検知部27は、外乱トルクの確率分布と評価用正常モデルとを比較することにより、確率密度比を特徴量として算出する。第2異常検知部27は、確率密度比としきい値とを比較することにより、異常を判定する。

30

【0075】

図9Aは、正常モデルデータベース34に記憶されている評価用正常モデル60の一例を示す。図9Bは、第2異常検知部27により算出された外乱トルクの確率分布61aの一例を示す。第2異常検知部27は、図9Dに示すように、評価用正常モデル60の平均値を、確率分布61aの平均値(200)と一致するように修正する。修正後の評価用正常モデル62aと確率分布61aとを対比し、両者の相違が所定値以上に大きい場合に、異常があると判定する。例えば、図9Bの確率分布61aは、図9Dに示す修正後の評価用正常モデル62aから大きくはずれていないため、異常はないと判定される。一方、図9Cの確率分布61bは、図9E修正後の評価用正常モデル62bから大きくはずれているため、異常があると判定される。

40

【0076】

[異常度を用いた異常検知]

或いは、第2異常検知部27は、(4)式により定義される外乱トルクの異常度($G(r)$)に基づいて、異常を検知してもよい。(4)式において、 m は外乱トルクの標本平均、 s は外乱トルクの標準偏差、 r が外乱トルクである。第2異常検知部27は、外乱トルクの異常度($G(r)$)が所定の閾値を上回った時に、異常があると判定する。

【0077】

【数4】

50

$$G(r) = \frac{(r - m)^2}{2 \cdot s^2} \quad \dots (4)$$

【 0 0 7 8 】

第 2 異常検知部 2 7 は、上記した確率分布又は異常度を用いた異常検知アルゴリズムの代わりに、その他の既知の異常検知アルゴリズムを用いて、ロボット 1 0 1 の異常を検知しても構わない。

10

【 0 0 7 9 】

このように、第 2 実施形態の異常検知装置 1 0 2 は、第 1 異常検知部 2 6 による異常の検知結果と第 2 異常検知部 2 7 による異常の検知結果とを組み合わせ、1 つの検知結果を出力する。検知結果の組合せ型の例として、直列型と並列型とを説明する。

【 0 0 8 0 】

[直列型]

第 1 異常検知部 2 6 又は第 2 異常検知部 2 7 は、第 2 異常検知部 2 7 又は第 1 異常検知部 2 6 により検出された異常が発生した時刻又は時刻を含む時間帯における時系列データに基づいてロボット 1 0 1 の異常を検知する。まず、第 1 異常検知部 2 6 及び第 2 異常検知部 2 7 の一方が異常を検知する。第 1 異常検知部 2 6 及び第 2 異常検知部 2 7 の他方は、当該一方が検知した異常が発生した時刻又は時刻を含む時間帯に限り、異常の有無を探索する。第 1 異常検知部 2 6 及び第 2 異常検知部 2 7 の他方は、一方が異常を検知していない時刻又は時間帯について、異常の有無を探索しない。

20

【 0 0 8 1 】

図 7 を参照して、図 6 の異常検知装置 1 0 2 の直列型の動作の一例を説明する。まず、ステップ S 0 1 において、通信部 2 1 は、ロボット 1 0 1 に取り付けられたセンサ 1 3 及び外乱トルク演算部 1 5 により算出された外乱トルクを、ロボット 1 0 1 の通信部 1 1 から受信する。

【 0 0 8 2 】

ステップ S 5 1 へ進み、第 1 異常検知部 2 6 は、通信部 2 1 が受信した外乱トルクに基づいて、ロボット 1 0 1 に発生する異常を検知する。ステップ S 5 1 の詳細な手順は、図 3 又は図 4 を参照して説明したステップ S 0 2 の詳細な手順と同じである為、説明を省略する。

30

【 0 0 8 3 】

第 1 異常検知部 2 6 によりロボット 1 0 1 に異常が検知された場合（ステップ S 5 2 で Y E S）、ステップ S 5 4 へ進み、制御部 5 1 は、第 1 異常検知部 2 6 により異常が検知された時刻又は時間帯を設定する。

【 0 0 8 4 】

ステップ S 5 4 へ進み、第 2 異常検知部 2 7 は、通信部 2 1 が受信した外乱トルクの確率分布又は異常度に基づいて、ロボット 1 0 1 に発生する異常を検知する。この時、第 2 異常検知部 2 7 は、第 1 異常検知部 2 6 が検知した異常が発生した時刻又は時間帯に限り、異常の有無を探索する。第 2 異常検知部 2 7 は、外乱トルクの確率分布又は異常度の代わりに、他の既知の方法により、ロボット 1 0 1 に発生する異常を検知してもよい。

40

【 0 0 8 5 】

第 2 異常検知部 2 7 によりロボット 1 0 1 に異常が検知された場合（ステップ S 5 5 で Y E S）、ステップ S 0 4 へ進み、報知制御部 2 3 は、第 1 異常検知部 2 6 及び第 2 異常検知部 2 7 の双方により検知されたロボット 1 0 1 の異常を、ロボット 1 0 1 の使用者に報知して、図 7 のフローチャートは終了する。第 1 異常検知部 2 6 によりロボット 1 0 1 に異常が検知されない場合（ステップ S 5 2 で N O）、及び、第 2 異常検知部 2 7 により

50

ロボット101に異常が検知されない場合(ステップS55でNO)、ステップS04は実施せずに、図7のフローチャートは終了する。

【0086】

なお、図7の例では、第1異常検知部26が先に異常判定を実施し、その後、第2異常検知部27が異常判定を実施する例を示したが、第1異常検知部26と第2異常検知部27とを入れ替えて実施しても構わない。

【0087】

[並列型]

第1異常検知部26と第2異常検知部27との組合せ型は、上記した直列型に限らない。例えば、第1異常検知部26と第2異常検知部27とを並列に組み合わせてもよい。つまり、第2実施形態に係わる異常検知装置は、図8に示す並列型の動作により、異常を検知してもよい。図8は、図6の異常検知装置102の並列型の動作の一例を示すフローチャートである。

10

【0088】

報知制御部23は、第1異常検知部26により検出された異常と、第2異常検知部27により検出された異常とが同じ時刻又は同じ時間帯に発生している場合、ロボット101の異常を報知するよう制御してもよい。換言すれば、異常検知装置102は、第1異常検知部26により検出された異常の発生時刻と、第2異常検知部27により検出された異常の発生時刻と対比し、発生時刻が一致する場合、或いは、所定の時間帯に収まっている場合、当該異常を、ロボット101の異常として認識してもよい。これにより、報知制御部23は、異なる2つの異常検知アルゴリズムの双方によって検知された異常のみを出力することができる。よって、第1実施形態に比べて、異常の過検知を低減することができる。

20

【0089】

図8を参照して、図6の異常検知装置102の並列型の動作の一例を説明する。先ず、ステップS01において、通信部21は、ロボット101に取り付けられたセンサ13及び外乱トルク演算部15により算出された外乱トルクを、ロボット101の通信部11から受信する。

【0090】

ステップS51へ進み、第1異常検知部26は、通信部21が受信した外乱トルクに基づいて、ロボット101に発生する異常を検知する。ステップS51の詳細な手順は、図3又は図4を参照して説明したステップS02の詳細な手順と同じである為、説明を省略する。

30

【0091】

ステップS56へ進み、第2異常検知部27は、通信部21が受信した外乱トルクの確率分布又は異常度に基づいて、ロボット101に発生する異常を検知する。この時、第2異常検知部27は、検知対象となる時刻又は時間帯を限定すること無く、ステップS51と同じ範囲において、異常の有無を探索する。

【0092】

ステップS51(第1異常検知部26)及びステップS56(第2異常検知部27)の各々で、ロボット101に異常が検知された場合(ステップS57でYES)、ステップS58へ進み、制御部51は、ステップS51及びステップS56で検知した異常が発生した時刻又は時間帯が一致するか否かを判断する。ここで、「時刻又は時間帯が一致する」とは、異常が発生した時刻が完全に一致する場合に限らず、ステップS51及びステップS56で検知された異常の双方の時刻が同じ時間帯に属している場合も含まれる。時間帯の長さは、例えば、1分以下であればよい。パラメータ設定部25は、機械学習を用いて時間帯の長さを最適化してもよい。

40

【0093】

時刻又は時間帯が一致する場合(S58でYES)、ステップS59へ進み、制御部51は、ロボット101に異常が発生したと判定する。ステップS04へ進み、報知制御部23は、制御部51により判定されたロボット101の異常を、ロボット101の使用者

50

に報知して、図 8 のフローチャートは終了する。ステップ S 5 1 又はステップ S 5 6 の少なくとも一方で、異常が検知されなかった場合（ステップ S 5 7 で NO）、又は、ステップ S 5 1 及びステップ S 5 6 で検知した異常が発生した時刻又は時間帯が一致しなかった場合（ステップ S 5 8 で NO）、ステップ S 0 4 は実施せずに、図 8 のフローチャートは終了する。

【 0 0 9 4 】

以上説明したように、報知制御部 2 3 は、第 1 異常検知部 2 6 と第 2 異常検知部 2 7 とを組み合わせて検知されたロボット 1 0 1 の異常を報知するよう制御する。つまり、報知制御部 2 3 は、異なる 2 つの異常検知アルゴリズムの双方によって検出された異常のみを出力する。よって、第 1 実施形態に比べて、正常であるにも関わらず、誤って異常があると判定する、所謂、異常の過判定を低減することができる。

10

【 0 0 9 5 】

第 2 異常検知部 2 7 は、外乱トルクの確率分布に基づいてロボット 1 0 1 の異常を検知する。互いに異なる異常検知アルゴリズムを用いて、精度良く異常を検知することができる。

【 0 0 9 6 】

また、図 7 に示したように、第 2 異常検知部 2 7 は、第 1 異常検知部 2 6 により異常が検知された場合（S 5 2 で YES）のみ、且つ、第 1 異常検知部 2 6 により検知された異常が発生した時刻又は時間帯に限り、ロボット 1 0 1 の異常を探索する。よって、第 2 異常検知部 2 7 の演算処理負担が軽減され、処理時間が短縮される。

20

【 0 0 9 7 】

また、図 8 に示したように、第 1 異常検知部 2 6 及び第 2 異常検知部 2 7 が、それぞれ独立して異常を検知し、制御部 5 1 が、検知した異常の発生時刻又は時間帯を照合することにより、異常の発生の有無を最終的に判断する。これにより、第 2 異常検知部 2 7 を有さない第 1 実施形態の異常検知装置に比べて、異常の誤判定を抑制することができる。つまり、異常の過判定を抑制することができる。

【 0 0 9 8 】

パラメータ設定部 2 5 は、アンサンブル学習などの機械学習を用いてステップ S 5 8 の時間帯の長さを最適化する。これにより、過検知を抑制して、検知精度を向上させることができる。

30

【 0 0 9 9 】

なお、上述の実施形態は本発明の一例である。このため、本発明は、上述の実施形態に限定されることはなく、この実施形態以外の形態であっても、本発明に係る技術的思想を逸脱しない範囲であれば、設計などに応じて種々の変更が可能であることは言うまでもない。

【 0 1 0 0 】

可動部を有する機器から取得された時系列データとして、外乱トルクを例に取り説明したが、これに限らず、例えば、関節軸などに設置された加速度センサにより検出された加速度の検出値であってもよい。第 1 異常検知部 2 6 及び第 2 異常検知部 2 7 は、外乱トルクを加速度の検出値に置き換えて、上記した方法によりロボット 1 0 1 の異常を検知することはできる。

40

【 符号の説明 】

【 0 1 0 1 】

- 2 1 通信部（センサ信号入力部）
- 2 3 報知制御部
- 2 5 パラメータ設定部
- 2 6 第 1 異常検知部
- 2 7 第 2 異常検知部
- 1 0 1 ロボット（機器）
- p_a 第 1 基準値

50

p b 第2基準値

t 特定の時刻

A D 1 ~ A D 3 時系列データの移動平均

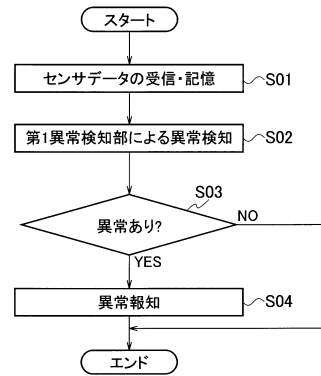
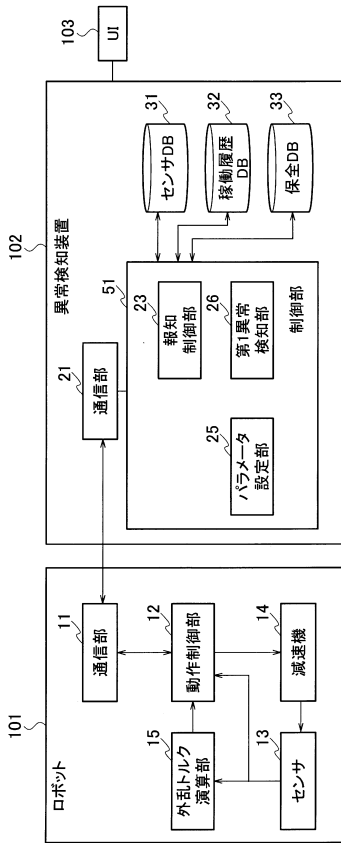
F D 1 ~ F D 3 積算値の移動平均

R D、R D 1 ~ R D 3 外乱トルク(時系列データ)

【図面】

【図1】

【図2】



10

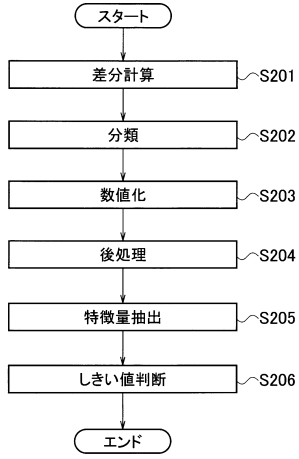
20

30

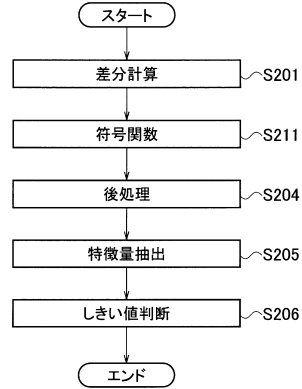
40

50

【 図 3 】



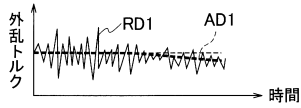
【 図 4 】



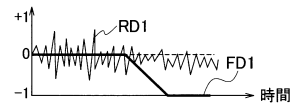
10

20

【 図 5 A 】



【 図 5 B 】

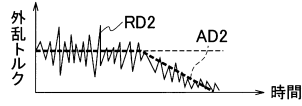


30

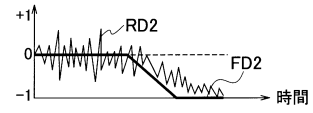
40

50

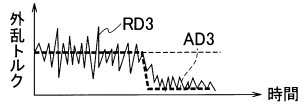
【図5C】



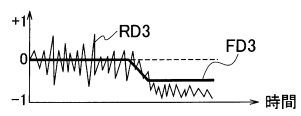
【図5D】



【図5E】

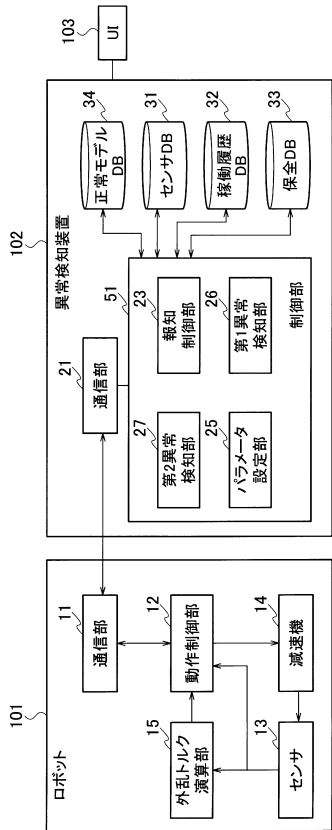


【図5F】

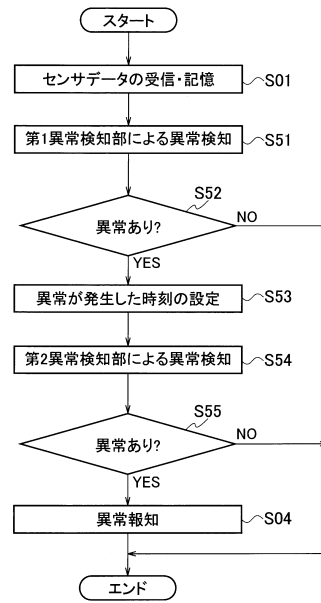


10

【図6】



【図7】



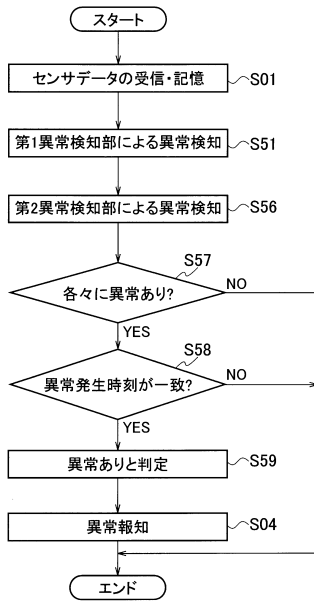
20

30

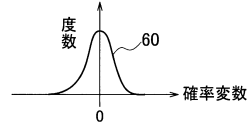
40

50

【 図 8 】



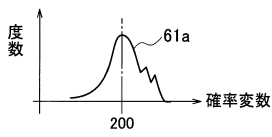
【 図 9 A 】



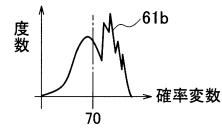
10

20

【 図 9 B 】



【 図 9 C 】

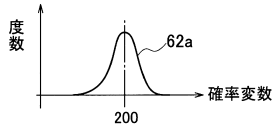


30

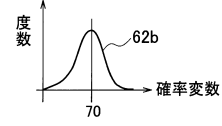
40

50

【 図 9 D 】



【 図 9 E 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特公平7 - 11472 (JP, B2)
特開昭58 - 222311 (JP, A)
田中康裕, 高木徹, 浦川敏倫, 太田悠太, タンドンジャオ, 機械学習を用いた生産ロボット減速機の故障予知手法の開発, 自動車技術会論文集, 50巻, 2号, 公益社団法人自動車技術会, 2019年03月25日, p. 585 - 590, ISSN 0287 - 8321
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G05B 23/00 - 23/02