

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2019-132809  
(P2019-132809A)

(43) 公開日 令和1年8月8日(2019.8.8)

(51) Int. Cl.  
GO 1 M 13/04 (2019.01)

F I  
GO 1 M 13/04

テーマコード(参考)  
2 G O 2 4

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2018-17508 (P2018-17508)  
(22) 出願日 平成30年2月2日(2018.2.2)

(71) 出願人 000102692  
NTN株式会社  
大阪府大阪市西区京町堀1丁目3番17号  
(74) 代理人 110001195  
特許業務法人深見特許事務所  
(72) 発明者 榊原 育彦  
静岡県磐田市東貝塚1578番地 NTN  
株式会社内  
Fターム(参考) 2G024 AC01 BA27 CA13 DA09 EA14  
FA02 FA04 FA06

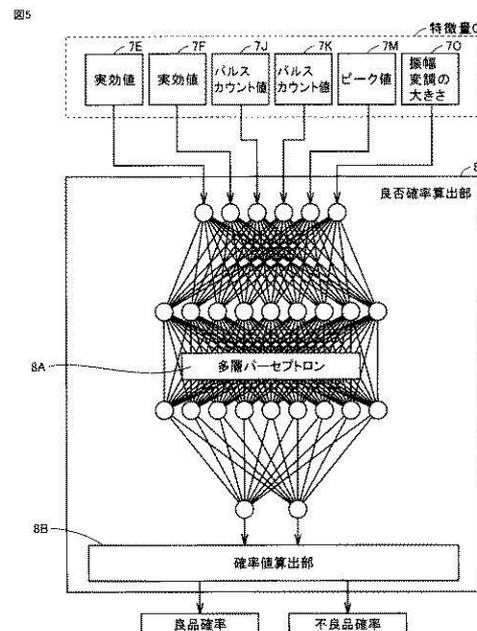
(54) 【発明の名称】 転がり軸受の振動分析装置および転がり軸受の検査方法

(57) 【要約】

【課題】 判定方法を決定する際の工数が削減され、生産性が向上した転がり軸受の振動分析装置を提供する。

【解決手段】 転がり軸受の振動分析装置は、転がり軸受であるワークを回転させた際に振動センサから得られた振動波形の特徴量Qを算出する特徴量算出部と、特徴量を多層パーセプトロン構造のディープラーニングモデル8Aに入力し、ディープラーニングモデル8Aの出力値から求められる確率値(良品確率、不良品確率)を用いて軸受の良否判定を行なう判定処理部とを備える。

【選択図】 図5



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

転がり軸受を回転させた際に振動センサから得られた振動波形の特徴量を算出する特徴量算出部と、

前記特徴量を多層パーセプトロン構造のディープラーニングモデルに入力し、前記ディープラーニングモデルの出力値から求められる確率値を用いて軸受の良否判定を行なう判定部とを備える、転がり軸受の振動分析装置。

## 【請求項 2】

前記特徴量算出部は、振動波形の実効値と、振動波形のパルスカウント値と、振動波形のピーク値と、振動波形の振幅変調波の振幅の大きさを前記特徴量として算出し、

前記実効値は、帯域が互いに異なる複数フィルタをそれぞれ通過した複数の振動波形の実効値を含み、

前記パルスカウント値は、複数の異なるカウントレベルによってそれぞれ計数された複数のパルスカウント値を含む、請求項 1 に記載の転がり軸受の振動分析装置。

## 【請求項 3】

転がり軸受を回転させた際に振動センサから得られた振動波形の特徴量を算出するステップと、

前記特徴量を多層パーセプトロン構造のディープラーニングモデルに入力し、前記ディープラーニングモデルの出力値から求められる確率値を用いて軸受の良否判定を行なうステップとを備える、転がり軸受の検査方法。

## 【請求項 4】

前記特徴量を算出するステップは、振動波形の実効値と、振動波形のパルスカウント値と、振動波形のピーク値と、振動波形の振幅変調波の振幅の大きさを前記特徴量として算出し、

前記実効値は、帯域が互いに異なる複数フィルタをそれぞれ通過した複数の振動波形の実効値を含み、

前記パルスカウント値は、複数の異なるカウントレベルによってそれぞれ計数された複数のパルスカウント値を含む、請求項 3 に記載の転がり軸受の検査方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

この発明は、転がり軸受の振動分析装置および転がり軸受の検査方法に関し、特に、転がり軸受を回転させた際に発生する振動を分析することにより、良否判定を行なう転がり軸受の振動分析装置および転がり軸受の検査方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

転がり軸受を回転させた際に発生する振動を分析して転がり軸受の欠陥を発見する欠陥検査が従来から知られている。このような欠陥検査では、加速度センサや速度センサなどの振動センサから得られた振動成分に対して、実効値の算出やパルスカウントによるパルス数の計数などにより数値化を行なう。その後、数値化した各項目を対応するしきい値と比較し、しきい値を超えた場合に不良品と判定する。この際に数値化される項目の数は一つではなく複数の場合が多い。

## 【0003】

例えば、特開平 10 - 221161 号公報に開示された検査装置では、加速度センサからの振動信号を、FFT による前処理を施した上で 24 帯域分のピーク値として数値化し、各々の帯域において数値と定められたしきい値とを比較することによって良否判定を行なっている。

## 【0004】

また、特開平 6 - 307920 号公報に開示された振動解析装置では、振動データを 3 つのコンパレータを用いてパルスとし、パルスの計数値として振動データの数値化を行な

10

20

30

40

50

い、各々の計数値に対して独自のアルゴリズムを適合させることにより、良否判定を行なっている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開平10-221161号公報

【特許文献2】特開平6-307920号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

従来の方法で良否判定を行う為には、複数の数値化項目に対してそれぞれにしきい値を設定する必要があるが、適切なしきい値を決定するために多くの工数を必要とする。

【0007】

また、複数の計数値に対して独自のアルゴリズムを作成して良否判定を行なう方法では、最適な判定結果を得る為の計数値の組み合わせの数が膨大となるため、分類アルゴリズムの作成が困難であるといった課題がある。

【0008】

この発明は、上記の課題を解決するためのものであって、その目的は、判定方法を決定する際の工数が削減され、生産性が向上した転がり軸受の振動分析装置および転がり軸受の検査方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0009】

この発明は、要約すると、転がり軸受の振動分析装置であって、転がり軸受を回転させた際に振動センサから得られた振動波形の特徴量を算出する特徴量算出部と、特徴量を多層パーセプトロン構造のディープラーニングモデルに入力し、ディープラーニングモデルの出力値から求められる確率値を用いて軸受の良否判定を行なう判定部とを備える。

【0010】

好ましくは、特徴量算出部は、振動波形の実効値と、振動波形のパルスカウント値と、振動波形のピーク値と、振動波形の振幅変調波の振幅の大きさを特徴量として算出する。実効値は、帯域が互いに異なる複数フィルタをそれぞれ通過した複数の振動波形の実効値を含む。パルスカウント値は、複数の異なるカウントレベルによってそれぞれ計数された複数のパルスカウント値を含む。

【0011】

この発明は、他の局面では、転がり軸受の検査方法であって、転がり軸受を回転させた際に振動センサから得られた振動波形の特徴量を算出するステップと、特徴量を多層パーセプトロン構造のディープラーニングモデルに入力し、ディープラーニングモデルの出力値から求められる確率値を用いて軸受の良否判定を行なうステップとを備える。

【0012】

好ましくは、特徴量を算出するステップは、振動波形の実効値と、振動波形のパルスカウント値と、振動波形のピーク値と、振動波形の振幅変調波の振幅の大きさを特徴量として算出する。実効値は、帯域が互いに異なる複数フィルタをそれぞれ通過した複数の振動波形の実効値を含む。パルスカウント値は、複数の異なるカウントレベルによってそれぞれ計数された複数のパルスカウント値を含む。

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、振動による転がり軸受の良否判定において、しきい値設定や検査アルゴリズム作成の工数を削減することによる、生産性の向上が期待できる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本実施の形態で用いられる分類器の概念を示す図である。

10

20

30

40

50

【図 2】検査対象である転がり軸受と測定系とを示した図である。

【図 3】振動分析装置の構成を示すブロック図である。

【図 4】特徴量算出部の構成を示すブロック図である。

【図 5】良否確率算出部の構成を示す図である。

【図 6】多層パーセプトロンの各ノードを示した図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照しつつ説明する。なお、以下の図面において同一または相当する部分には同一の参照番号を付し、その説明は繰返さない。

【0016】

転がり軸受の良否判定を行う為には、振動波形の複数の数値化項目に対してそれぞれにしきい値を設定する必要があるが、適切なしきい値を決定するために多くの工数を必要とする。

【0017】

また、複数の計数値に対して独自のアルゴリズムを作成して良否判定を行なう方法では、最適な判定結果を得る為の計数値の組み合わせの数が膨大となるため、分類アルゴリズムの作成が困難であるといった課題がある。

【0018】

そこで、本実施の形態では、機械学習を用いて分類器を作成する。図 1 は、本実施の形態で用いられる分類器の概念を示す図である。この分類器は、振動センサから得られた振動信号を、複数の帯域の実効値、カウントレベルを変えた場合のパルスカウント値、振動波形のピーク値、および振幅変調の大きさなどと言った複数の特徴量として数値化し、それらの特徴量を入力値、良品と不良品である確率値を出力とする多層パーセプトロン構造のディープラーニングモデルを用いて軸受の良否分類を行なうことを特徴とする。

【0019】

図 2 は、検査対象である転がり軸受と測定系とを示した図である。図 2 に示す測定系において検査対象となる転がり軸受の振動測定とその良否判定を行なう。ワークホルダ 1 にワーク 2 が配置される。ワーク 2 は転がり軸受であって、外輪 2 a と鋼球 2 b と内輪 2 c と保持器 2 d とを含む。回転軸 3 が内輪 2 c に挿入されアキシヤル加圧された状態で、図示しないモータなどによって回転軸 3 を一定速度（例えば 1800 rpm）で回転させる。振動分析装置 5 は、外輪 2 a に接触させた振動センサ 4 からの振動信号を分析し、ワーク 2 の良否判定を行なう。振動センサ 4 としては、たとえば加速度センサを使用することができる。

【0020】

図 3 は、振動分析装置の構成を示すブロック図である。振動分析装置 5 は、振動センサから得られる電圧信号をデジタルデータの振動波形に変換する A/D 変換部 6 と、振動波形から波形の特徴量を算出する特徴量算出部 7 と、算出された特徴量から良否確率を算出する良否確率算出部 8 と、得られた良否確率から最終的な合否判定を行う判定処理部 9 と、得られた結果を外部に出力する結果出力部 10 とを含む（図 3）。

【0021】

振動センサ 4 で得られた電圧信号は、A/D 変換部 6 で 16 bit のデジタル波形に変換され特徴量算出部 7 へ送られる。

【0022】

図 4 は、特徴量算出部の構成を示すブロック図である。特徴量算出部 7 は、複数の帯域フィルタ 7 A, 7 B, 7 G と、実効値算出部 7 C, 7 D と、パルスカウント計数部 7 H, 7 I と、ピーク値検出部 7 L と振幅変調計測部 7 N とを含む。

【0023】

特徴量算出部 7 では、通過帯域の異なる複数の帯域フィルタを通過させた波形に対して、実効値算出部（7 C, 7 D）によってそれぞれ実効値（7 E, 7 F）を算出し、特徴量 Q として、実効値（7 E）と実効値（7 F）とを得る。複数の帯域フィルタは、例えば、

10

20

30

40

50

80 ~ 400 Hz を通過させる帯域フィルタ (7A) と 400 ~ 6 kHz を通過させる帯域フィルタ (7B) を含む。

【0024】

さらに、特徴量算出部7では、帯域フィルタ(7A)および帯域フィルタ(7B)とは通過帯域が異なるフィルタ(7G)を通過させた波形に対して、カウントレベルが異なる複数のパルスカウント計数部、例えばパルスカウント計数部(7H)とパルスカウント計数部(7I)でカウントしきい値を超える振動パルスの数を計測し、特徴量として、パルスカウント値(7J)とパルスカウント値(7K)を得る。帯域フィルタ(7G)は、例えば、1 kHz から 5 kHz を通過させる帯域フィルタとすることができる。

【0025】

さらに、特徴量算出部7では、帯域フィルタ(7G)を通過させた波形に対して、ピーク値検出部(7L)で、特徴量として、ピーク値(7M)を得る。

【0026】

さらに、特徴量算出部7では、帯域フィルタ(7G)を通過させた波形に対して、振幅変調計測部(7N)で、特徴量として、振幅変調波の振幅の大きさ(7O)を得る。

【0027】

特徴量算出部7で算出された特徴量は、良否確率算出部8に送られる。

なお、特徴量パラメータは上記に例示された6個に限定されるものではない。例えば、実効値を算出する為の帯域フィルタの帯域を50 ~ 300 Hz と 300 ~ 1.8 kHz と 1.8 kHz ~ 10 kHz の3帯域としても良いし、50 Hz から 10 kHz までを1/3オクターブ間隔で分割した24帯域としても良い。また、特徴量として音声認識の分野でよく使用されるメル周波数ケプストラム計数(MFCC)を用いても良い。

【0028】

図5は、良否確率算出部の構成を示す図である。良否確率算出部8は、特徴量算出部7で得られた特徴量Qを入力とし、良品と不良品に対応した出力値を算出する多層パーセプトロン構造のディープラーニングモデル8Aと、多層パーセプトロンからの出力値を良品と不良品それぞれの確率値に変換する確率値算出部8Bとを含む(図5)。

【0029】

ディープラーニングモデル8Aの多層パーセプトロン構造は、例えば入力層6点、中間層9点×2層、出力層2点とすれば良い。

【0030】

図6は、多層パーセプトロンの各ノードを示した図である。多層パーセプトロンの各ノードは、下式(1)に示されるように、前層の各ノードからの入力 $x$ ( $x_1 \sim x_n$ )と重み係数 $w$ ( $w_1 \sim w_n$ )の積を合計した値にバイアス $b$ を足し合わせ、さらに活性化関数 $f(x)$ を適用した値を出力値とする。

【0031】

【数1】

$$y = f\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b\right) \cdots (1)$$

【0032】

重み係数 $w$ とバイアス $b$ の値は誤差逆伝搬法による学習で算出される。活性化関数 $f(x)$ は下式(2)に示すシグモイド関数を使用する。

【0033】

【数2】

$$\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \cdots (2)$$

10

20

30

【 0 0 3 4 】

多層パーセプトロン構造のディープラーニングモデル 8 A からの 2 つの出力値は、確率値算出部 8 B で下式 ( 3 ) に示すソフトマックス関数にて確率値に変換される。

【 0 0 3 5 】

【 数 3 】

$$\text{soft max}(y_i) = \frac{e^{y_i}}{\sum_i e^{y_i}} \cdots \quad (3)$$

【 0 0 3 6 】

尚、中間層の点数や層数は設計的項目であり、本実施例の条件に限定されるものではない。

【 0 0 3 7 】

多層パーセプトロン構造のディープラーニングモデル 8 A 内での演算に使用する係数は予め、特徴量と正解を関連づけたデータを、誤差逆伝搬法を用いたディープラーニングの学習プログラムに与えて算出しておく。

【 0 0 3 8 】

図 3 の判定処理部 9 は、良否確率算出部 8 から入力される確率値と予め決められたしきい値との大小を比較して判定を行なう。例えば、良品確率値に対してしきい値を設け、しきい値を上回るものを良品とし、しきい値を下回るものを不良品とする。

20

【 0 0 3 9 】

結果出力部 1 0 は、判定処理部 9 から受け取った判定結果の画面表示や他の機器へ出力を行なう。

【 0 0 4 0 】

本実施の形態の例では、6 つの特徴量に対して、良品確率値に対する一つのしきい値で良否判定を行なうことができるため、しきい値を決定する為の工数が削減できる。また複数の特徴量を元に良否判定を行なう複雑なアルゴリズムを作成する必要が無く、アルゴリズム開発の工数を削減できる。

【 0 0 4 1 】

最後に、本実施の形態について総括する。図 2、図 3、図 5 を参照して、本実施の形態に係る転がり軸受の振動分析装置 5 は、転がり軸受であるワーク 2 を回転させた際に振動センサ 4 から得られた振動波形の特徴量 Q を算出する特徴量算出部 7 と、特徴量を多層パーセプトロン構造のディープラーニングモデル 8 A に入力し、ディープラーニングモデル 8 A の出力値から求められる確率値 ( 良品確率、不良品確率 ) を用いて軸受の良否判定を行なう判定処理部 9 とを備える。

30

【 0 0 4 2 】

好ましくは、特徴量算出部 7 は、図 4 に示すように、振動波形の実効値 7 E、7 F と、振動波形のパルスカウント値 7 J、7 K と、振動波形のピーク値 7 M と、振動波形の振幅変調波の振幅の大きさ 7 O とを特徴量 Q として算出する。実効値は、帯域が互いに異なる複数フィルタ 7 A、7 B をそれぞれ通過した複数の振動波形の実効値 7 E、7 F を含む。パルスカウント値は、複数の異なるカウントレベルを有するパルスカウント計数部 7 H、7 I によってそれぞれ計数された複数のパルスカウント値 7 J、7 K を含む。

40

【 0 0 4 3 】

本発明によれば、振動による転がり軸受の良否判定において、しきい値設定や検査アルゴリズム作成の工数を削減することによる、生産性の向上が期待できる。

【 0 0 4 4 】

今回開示された実施の形態は、すべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。例えば、転がり軸受は玉軸受を例示したが、円筒ころ軸受、円錐ころ軸受、ニードル軸受、自動調心ころ軸受、その他の転がり軸受であってもよい。本発明の

50

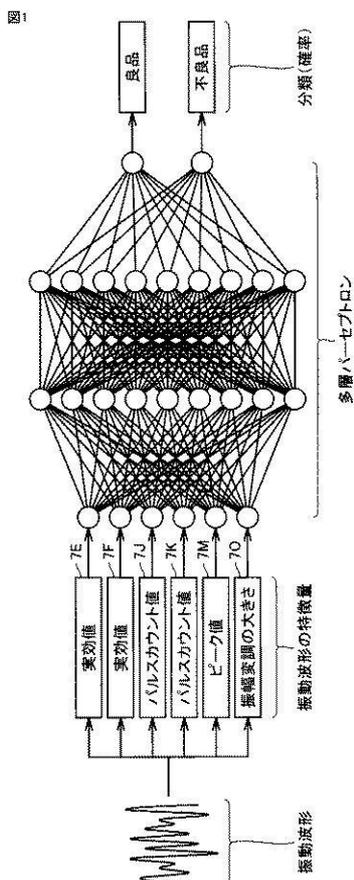
範囲は、上記した実施の形態の説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【符号の説明】

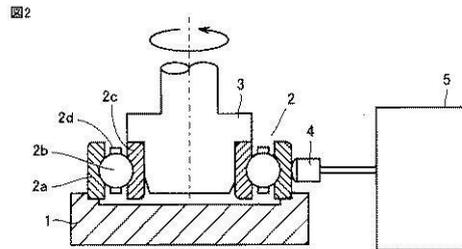
【0045】

1 ワークホルダ、2 ワーク、2 a 外輪、2 b 鋼球、2 c 内輪、2 d 保持器、3 回転軸、4 振動センサ、5 振動分析装置、6 AD変換部、7 特徴量算出部、7 A, 7 B, 7 G 帯域フィルタ、7 C, 7 D 実効値算出部、7 H, 7 I パルスカウント計数部、7 L ピーク値検出部、7 N 振幅変調計測部、8 良否確率算出部、8 A ディープラーニングモデル、8 B 確率算出処理部、9 判定処理部、10 結果出力部。

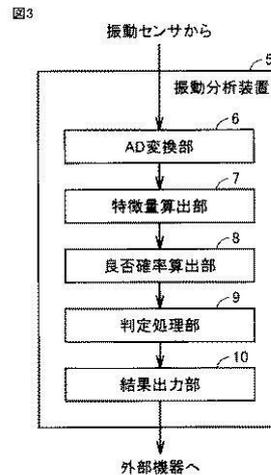
【図1】



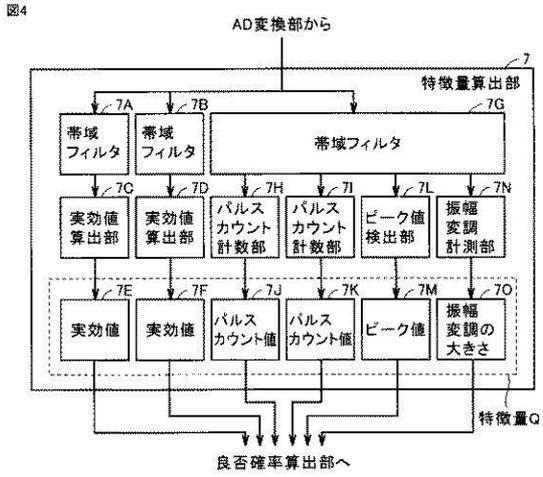
【図2】



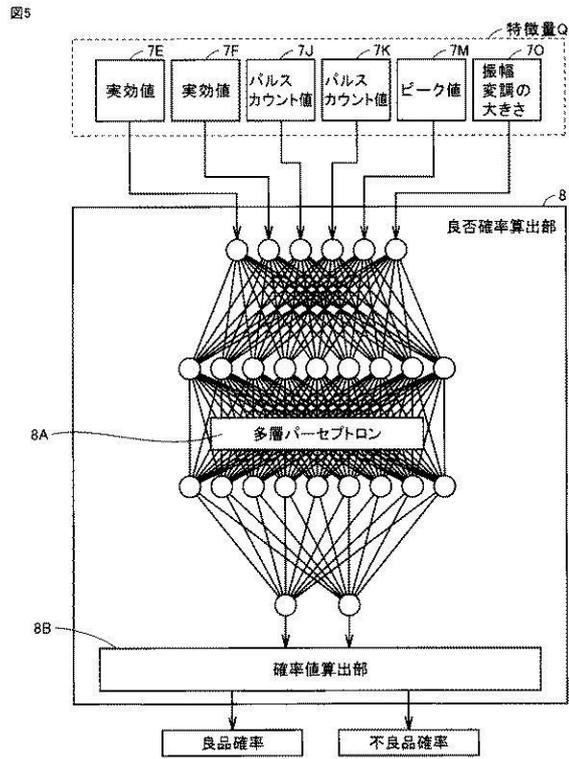
【図3】



【図4】



【図5】



【図6】

