

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6642474号
(P6642474)

(45) 発行日 令和2年2月5日(2020.2.5)

(24) 登録日 令和2年1月8日(2020.1.8)

| | | | | | |
|----------------|--------------|------------------|---------|-------|---------|
| (51) Int. Cl. | | F I | | | |
| GO 1 V | 3/08 | (2006.01) | GO 1 V | 3/08 | D |
| B 2 5 J | 19/02 | (2006.01) | B 2 5 J | 19/02 | |
| GO 1 B | 7/00 | (2006.01) | GO 1 B | 7/00 | 1 0 3 C |
| GO 1 B | 7/30 | (2006.01) | GO 1 B | 7/30 | D |
| GO 8 G | 1/16 | (2006.01) | GO 8 G | 1/16 | Z |

請求項の数 14 (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2017-24169 (P2017-24169)
 (22) 出願日 平成29年2月13日 (2017.2.13)
 (65) 公開番号 特開2018-132329 (P2018-132329A)
 (43) 公開日 平成30年8月23日 (2018.8.23)
 審査請求日 平成31年2月28日 (2019.2.28)

(73) 特許権者 000002945
 オムロン株式会社
 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不
 動堂町801番地
 (74) 代理人 100079108
 弁理士 稲葉 良幸
 (74) 代理人 100109346
 弁理士 大貫 敏史
 (74) 代理人 100117189
 弁理士 江口 昭彦
 (74) 代理人 100134120
 弁理士 内藤 和彦
 (74) 代理人 100139066
 弁理士 伊藤 健太郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 状態判定装置、学習装置、状態判定方法及びプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の電極の周辺にある物体の状態を判定する状態判定装置であって、
 前記複数の電極のうちから複数の電極ペアを選択する選択部と、
 前記選択部により選択された複数の電極ペアについての静電容量パターンを計測する静電容量パターン計測部と、
 前記静電容量パターンから前記物体の状態を判定するよう学習済みのニューラルネットワークと、を備え、
前記複数の電極ペアは、電極間の距離が異なる2以上の電極ペアを含む、
状態判定装置。

【請求項2】

前記状態判定装置は、前記複数の電極の配置を取得する配置取得部をさらに備え、
 前記ニューラルネットワークは、前記配置取得部により取得された前記複数の電極の配置をさらに含むデータから前記物体の状態を判定する、
 請求項1に記載の状態判定装置。

【請求項3】

前記状態判定装置は、
 前記複数の電極のうち前記選択部により選択された複数の電極ペアの各々に対して、所定の電圧を印加する電圧印加部と、
 前記複数の電極の少なくとも一部を囲むように配置されるガード電極と、をさらに備え

、
前記電圧印加部は、前記複数の電極のうち前記選択部により選択された電極ペアの一方と、前記ガード電極と、に基準電位を印加する、

請求項 1 又は 2 に記載の状態判定装置。

【請求項 4】

前記状態判定装置は、前記静電容量パターン計測部により前記複数の電極ペアの静電容量パターンを計測する際の環境に関する環境データを測定する環境測定部をさらに備え、

前記ニューラルネットワークは、前記環境測定部により測定された環境データをさらに含むデータから前記物体の状態を判定する、

請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の状態判定装置。

10

【請求項 5】

前記環境測定部により測定される環境データは、湿度及び電磁ノイズのうち少なくともいずれかを含む、

請求項 4 に記載の状態判定装置。

【請求項 6】

前記ニューラルネットワークは、前記物体の有無、前記物体の位置、前記物体の角度、前記物体の種類、前記物体の材質及び前記物体の分布のうち少なくともいずれかを判定する、

請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の状態判定装置。

【請求項 7】

前記複数の電極は、ロボットハンドに設けられている、

請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の状態判定装置。

20

【請求項 8】

前記複数の電極は、シートに設けられている、

請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の状態判定装置。

【請求項 9】

請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の状態判定装置において使用されるニューラルネットワークの学習を行うための学習装置であって、

前記学習装置は、

前記複数の電極のうちから選択された複数の電極ペアについての静電容量パターンを含む学習データにより前記ニューラルネットワークの学習を行うよう制御する学習制御部、を備える学習装置。

30

【請求項 10】

前記学習データは、前記複数の電極の配置に関するデータを含む、

請求項 9 に記載の学習装置。

【請求項 11】

前記学習データは、前記静電容量パターンを計測する際の環境に関する環境データを含む、

請求項 9 又は 10 に記載の学習装置。

【請求項 12】

前記学習制御部は、前記学習データ及び教師データにより、前記ニューラルネットワークの学習を行い、

前記教師データは、前記物体の状態を示す画像又は動画を含む、

請求項 9 から 11 のいずれか 1 項に記載の学習装置。

40

【請求項 13】

複数の電極の周辺にある物体の状態を判定する状態判定方法であって、

前記複数の電極のうちから複数の電極ペアを選択する第 1 ステップと、

前記第 1 ステップにおいて選択された複数の電極ペアについての静電容量パターンを計測する第 2 ステップと、

前記第 2 ステップにおいて計測された静電容量パターンから前記物体の状態を、学習済

50

みのニューラルネットワークにより判定する第3ステップと、を含み、
前記複数の電極ペアは、電極間の距離が異なる2以上の電極ペアを含む、
 状態判定方法。

【請求項14】

複数の電極の周辺にある物体の状態を判定する状態判定装置が備えるコンピュータを、
 前記複数の電極のうちから複数の電極ペアを選択する選択部、
 前記選択部により選択された複数の電極ペアについての静電容量パターンを計測する静
 電容量パターン計測部、及び

前記静電容量パターンから前記物体の状態を判定するよう学習済みのニューラルネット
 ワーク、として機能させるためのプログラムであり、

10

前記複数の電極ペアは、電極間の距離が異なる2以上の電極ペアを含む、
プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、状態判定装置、学習装置、状態判定方法及びそのプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

従来、物体と電極の距離に応じて電極の静電容量が変化することを利用した静電容量セ
 ンサを用いて、物体の有無や接近を判定する技術が知られている。静電容量センサは、絶
 縁体や透明な物体等であっても判定可能な場合があり、幅広い種類の物体を判定するた
 めに用いられている。

20

【0003】

特許文献1には、座席に着座した人体とヘッドレストとの間の静電容量を検知する検知
 電極を備え、頭部の頭頂部位置及び水平方向中心位置を判定して、ヘッドレストの位置を
 適正に調整するヘッドレスト位置調整装置が記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2009-50462号公報

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

静電容量センサは、電極ペア間の静電容量の変化に基づいて、物体の有無や接近を判定
 する場合がある。しかしながら、電極ペア間の静電容量の変化だけでは、物体の状態を詳
 細に判定できない場合がある。

【0006】

例えば、互いに向かい合う平面導体を電極ペアとする場合、物体が電極ペアの間に存在
 するか否かを判定したり、物体が電極ペアのどちら側に近いかを判定したりすることがで
 きる。だが、物体が電極ペアの間に存在する場合に、平面導体の延在方向に関する物体の
 位置を判定することは困難となる。

40

【0007】

そこで、本発明の一態様は、単一の電極ペア間の静電容量の変化を利用する場合に比較
 して、物体の状態をより詳細に判定し得る状態判定装置等を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の一態様に係る状態判定装置は、複数の電極の周辺にある物体の状態を判定する
 状態判定装置であって、複数の電極のうちから複数の電極ペアを選択する選択部と、選
 択部により選択された複数の電極ペアについての静電容量パターンを計測する静電容量パ
 ターン計測部と、静電容量パターンから物体の状態を判定するよう学習済みのニューラルネ

50

ットワークと、を備える。

【0009】

この態様によれば、複数の電極のうちから複数通りの電極ペアを選択して静電容量パターンを計測し、複数の電極の周辺にある物体の状態を判定することにより、単一の電極ペア間の静電容量の変化を利用する場合に比較して、物体の状態をより詳細に判定することができる。

【0010】

上記態様において、状態判定装置は、複数の電極の配置を取得する配置取得部をさらに備える。このとき、ニューラルネットワークは、静電容量パターン計測部により計測された静電容量パターンに加え、配置取得部により取得された複数の電極の配置から物体の状態を判定してもよい。

10

【0011】

この態様によれば、静電容量パターン及び複数の電極の配置から物体の状態を判定することで、物体の状態をより詳細に判定することができる。

【0012】

上記態様において、状態判定装置は、複数の電極のうち選択部により選択された複数の電極ペアの各々に対して、所定の電圧を印加する電圧印加部と、複数の電極の少なくとも一部を囲むように配置されるガード電極と、をさらに備えてもよい。電圧印加部は、複数の電極のうち選択部により選択された電極ペアの一方と、ガード電極と、に基準電位を印加してもよい。

20

【0013】

この態様によれば、電極ペアの一方とガード電極に基準電位を印加することで、ガード電極によって電界が遮蔽され、電極の2つの面のうち片面側のみの静電容量パターンを計測することができ、物体の状態を判定する範囲を制限することができる。

【0014】

上記態様において、状態判定装置は、静電容量パターン計測部により複数の電極ペアの静電容量パターンを計測する際の環境に関する環境データを測定する環境測定部をさらに備えてもよい。このとき、ニューラルネットワークは、静電容量パターン計測部により計測された静電容量パターンに加え、環境測定部により測定された環境データから物体の状態を判定してもよい。

30

【0015】

この態様によれば、静電容量パターン及び環境データから物体の状態を判定することで、静電容量パターンの環境依存性を考慮した状態判定が行われ、測定環境の変化に起因する状態判定の誤差を低減することができる。

【0016】

上記態様において、環境測定部により測定される環境データは、湿度及び電磁ノイズのうち少なくともいずれかを含んでもよい。

【0017】

この態様によれば、静電容量パターンに対して特に影響を及ぼす湿度及び電磁ノイズの依存性を考慮した状態判定が行われ、湿度の変化及び電磁ノイズの強弱に起因する状態判定の誤差を低減することができる。

40

【0018】

上記態様において、ニューラルネットワークは、物体の有無、物体の位置、物体の角度、物体の種類、物体の材質及び物体の分布のうち少なくともいずれかを判定してもよい。

【0019】

この態様によれば、物体の有無、物体の位置、物体の角度、物体の種類、物体の材質及び物体の分布のうち少なくともいずれかを判定することで、物体の状態をより詳細に判定することができる。

【0020】

上記態様において、複数の電極は、ロボットハンドに設けられていてもよい。

50

【0021】

この態様によれば、ロボットハンドによって把持されたり操作されたりする物体の状態を判定することができ、ロボットハンドによるより精密な動作を支援することができる。例えば、物体を把持する場合に、ロボットハンドの複数の指を物体に対して均等に近付ける動作ができる。

【0022】

上記態様において、複数の電極は、シートに設けられていてもよい。

【0023】

この態様によれば、シートに着座する者の状態について、体格や姿勢等の詳細を判定することができる。例えば、自動車のシートに着座する自動車の運転手の状態を判定することで、運転手が覚醒状態にあるか否かを判断することができる。

10

【0024】

上記態様において、ニューラルネットワークの学習を行うための学習装置をさらに備えてもよい。学習装置は、複数の電極のうちから選択された複数の電極ペアについての静電容量パターンを含む学習データによりニューラルネットワークの学習を行うよう制御する学習制御部を備える。

【0025】

この態様によれば、物体に関する静電容量パターンを含む学習データにより学習を行うことで、学習結果として、物体の状態を判定できるニューラルネットワークが得られ、単一の電極ペア間の静電容量の変化を利用する場合に比較して、物体の状態をより詳細に判定することができる。

20

【0026】

上記態様において、学習データは、複数の電極の配置に関するデータを含んでもよい。

【0027】

この態様によれば、複数の電極の配置を固定せず、複数の電極を物体に対してより柔軟に配置することで、物体の状態をより詳細に判定することができるニューラルネットワークの学習結果が得られる。

【0028】

上記態様において、学習データは、静電容量パターンを計測する際の環境に関する環境データを含んでもよい。

30

【0029】

この態様によれば、物体に関する静電容量パターン及び環境データを含む学習データによりニューラルネットワークの学習が行われ、測定環境が変化する場合であっても、静電容量パターンの環境依存性を考慮した状態判定を行い、状態判定の誤差を低減することができる学習結果が得られる。

【0030】

上記態様において、学習装置は、学習データ及び教師データにより、ニューラルネットワークの学習を行い、教師データは、物体の状態を示す画像又は動画を含んでもよい。

【0031】

この態様によれば、ユーザが物体の状態を数値化する必要がなくなり、物体の状態を客観的に示した画像又は動画を教師データに用いてニューラルネットワークの学習が行われ、客観性が高くより汎用性の高いニューラルネットワークの学習結果が得られる。

40

【0032】

本発明の一態様に係る状態判定方法は、複数の電極の周辺にある物体の状態を判定する状態判定方法であって、複数の電極のうちから複数の電極ペアを選択する第1ステップと、第1ステップにおいて選択された複数の電極ペアについての静電容量パターンを計測する第2ステップと、第2ステップにおいて計測された静電容量パターンから物体の状態を、学習済みのニューラルネットワークにより判定する第3ステップと、を含む。

【0033】

この態様によれば、複数の電極のうちから複数通りの電極ペアを選択して静電容量パタ

50

ーンを計測し、物体の状態を判定することにより、単一の電極ペア間の静電容量の変化を利用する場合に比較して、物体の状態をより詳細に判定することができる。

【0034】

本発明の一態様に係る状態判定のためのプログラムは、複数の電極の周辺にある物体の状態を判定する状態判定装置が備えるコンピュータを、複数の電極のうちから複数の電極ペアを選択する選択部、選択部により選択された複数の電極ペアについての静電容量パターンを計測する静電容量パターン計測部、及び静電容量パターンから物体の状態を判定するよう学習済みのニューラルネットワーク、として機能させることを含む。

【0035】

この態様によれば、複数の電極のうちから複数通りの電極ペアを選択して静電容量パターンを計測し、物体の状態を判定することにより、単一の電極ペア間の静電容量の変化を利用する場合に比較して、物体の状態をより詳細に判定することができる。

【発明の効果】

【0036】

本発明の一態様によれば、単一の電極ペア間の静電容量の変化を利用する場合に比較して、物体の状態をより詳細に判定し得る状態判定装置等が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0037】

【図1】第1実施形態に係る状態判定システムの全体概念を示す図である。

【図2A】複数の電極の配置例を示す図である。

【図2B】複数の電極の配置例を示す図である。

【図3】第1実施形態に係る状態判定システムの具体的なシステム構成の一例を示す図である。

【図4】第1実施形態に係る状態判定装置の構成を示すブロック図である。

【図5】第1実施形態に係る学習装置の構成を示すブロック図である。

【図6】第1実施形態に係る状態判定システムを構成する各装置のハードウェア構成の一例を示すブロック図である。

【図7】第1実施形態に係る学習データ作成装置における学習データ作成処理のフローチャートである。

【図8】第1実施形態に係る学習装置における学習処理のフローチャートである。

【図9】第1実施形態に係る状態判定装置における物体の認識処理のフローチャートである。

【図10】第2実施形態において、複数の電極がロボットハンドに設けられている様子を示す図である。

【図11】第2実施形態に係る状態判定装置の機能ブロック図である。

【図12】第3実施形態において、複数の電極がシートに設けられている様子を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0038】

添付図面を参照して、本発明の実施形態について説明する。なお、各図において、同一の符号を付したものは、同一又は同様の構成を有する。本明細書では、まず第1実施形態について説明した後、具体的な実施例として、主に、状態判定装置の複数の電極がロボットハンドに設けられた場合に関する第2実施形態と、状態判定装置の複数の電極がシートに設けられた場合に関する第3実施形態と、について説明する。しかしながら、本発明の実施形態に係る状態判定装置の複数の電極は、ロボットハンドやシート以外に設けられてもよいものであり、本発明の構成は、以下に説明する実施形態の構成に限定されるものではない。

【0039】

[第1実施形態]

図1は、本発明の第1実施形態に係る状態判定システム1の全体概念を示す図である。

10

20

30

40

50

同図に示すとおり、状態判定システム 1 は、電極接続部 20 と、選択部 30 と、静電容量パターン計測部 50 と、静電容量パターン学習部 60 と、静電容量パターン認識部 70 と、認識結果出力部 80 とを備え、電極接続部 20 を介して電極群 10 の各電極 11a、11b、11c、11d、11e、11f（以下、各電極を区別する必要のないときには単に「電極 11」という。）と接続されている。なお、本システムの構成は図示のものに限定されず、例えば、状態判定システム 1 が電極群 10 を含むものとして構成してもよい。また、各部のうち任意の複数の部を物理的ないし論理的に一体のものとして構成してもよいし、各部を物理的ないし論理的に 2 以上の要素に分けて構成してもよい。

【0040】

電極 11 は、所定の面積を持つ金属などの導体を用いることができる。電極が 2 つ（電極ペア）あれば、電極ペアを計測回路に接続することにより、その間の静電容量を計測できる。電極 11 として透明の部材を用いてもよく、この場合、表示デバイスの表面に透明の電極 11 を備えることによって、タッチパネルを構成できる。

【0041】

選択部 30 は、電極群 10 に含まれる複数の電極 11 のうちから任意の 2 つの電極を選択する。選択部 30 は任意の電極ペアを順次選択することで、複数の電極ペアを順次選択することができる。例えば、選択部 30 は、電極ペアとして、電極 11a と 11b のペア、電極 11c と 11d のペア、電極 11e と 11f のペアという 3 つの電極ペアを順次選択することができる。選択部 30 による電極ペアの選択は、状態判定システム 1 の記憶部に予め記憶された電極ペアリストに従ったものであってもよいし、状態判定システム 1 のユーザによる入力に従うものであってもよいし、ランダムに行われるものであってもよい。

【0042】

静電容量パターン計測部 50 は、選択部 30 によって選択された複数の電極ペアの各々について計測された静電容量に基づいて、選択部 30 により選択された複数の電極ペアについての静電容量パターンを計測する。静電容量パターンとは、複数の電極ペアについて計測される一連の静電容量の値をいう。具体的に、図 1 に示すように、電極群 10 として 6 つの電極 11a ~ 11f を備える場合について説明する。例えば、選択部 30 が、6 つの電極 11a ~ 11f のうちから、電極ペアとして、電極 11a と 11b のペア、電極 11c と 11d のペア、電極 11e と 11f のペアの 3 組を順次選択するとき、選択部 30 により選択された電極ペアのそれぞれに対して静電容量 C_{ab} 、 C_{cd} 、 C_{ef} を順次計測することができる。この 3 組の電極ペアに対して計測される一連の静電容量（ C_{ab} 、 C_{cd} 、 C_{ef} ）に基づいて、静電容量パターンを計測する。

【0043】

静電容量の計測方法は任意の手法を採用可能である。例えば、所定の電荷をチャージしたときの電圧を計測することによって、静電容量を計測してもよい。あるいは、LC 発信回路を構成して、周波数を計測することで、静電容量を計測してもよい。電極 11 付近に物体が有る場合と無い場合とでは、物体の誘電率に応じて静電容量が変化する。そのため、いずれかの電極ペアに物体が近づくと、当該電極ペアに対して計測される静電容量が、物体の誘電率に応じて変化する。そこで、複数の電極ペアの静電容量パターンを計測することによって、複数の電極 11 周辺に物体が存在するか否かを判定することができるようになり、判定結果に基づいて物体の存在状態を検出できるようになる。

【0044】

静電容量パターンは、画像に類似するデータと捉えられ、画像が物体の状態を光によって捉えたものであるならば、静電容量パターンは、物体の状態を静電容量によって捉えるものである。選択部 30 により選択された電極ペアに対して、静電容量パターン計測部 150 は、電極ペア間の静電容量を計測することができる。例えば、選択部 30 により選択された電極ペアに対して交流電圧を印加した場合、静電容量パターン計測部 50 は、電極ペア間において計測される電圧の周波数を印加電圧の周波数と比較することで、静電容量を計測することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 5 】

静電容量パターン計測部 5 0 において計測される静電容量パターンは、例えば、物体が複数の電極 1 1 付近に無い場合には、電極 1 1 付近にある空気の影響が静電容量パターンとして計測される。これに対して、物体がある場合には、物体の影響を受けた静電容量パターンが計測される。

【 0 0 4 6 】

静電容量パターン学習部 6 0 は、静電容量パターン計測部 5 0 によって計測された静電容量パターンを学習データとして機械学習を行うことで、静電容量パターンを認識する能力を獲得する。

【 0 0 4 7 】

例えば、複数の電極 1 1 に対して所定の位置にある、同じ物体に対して計測される静電容量パターンは、ほぼ同じパターンになる。このとき、物体がいずれかの方向に少し移動すると、静電容量パターンは少し変化する。したがって、同じ物体の位置を変えて、多数計測したデータに基づいて構成された静電容量パターンを学習データとすることで、物体の位置を判定する能力を学習し、物体の位置を検出することができる。

【 0 0 4 8 】

複数の電極 1 1 に対して所定の位置にある、同じ物体の姿勢を変えて計測すると、同じ姿勢の場合にはほぼ同じパターンになる。物体の姿勢が少し変化する、静電容量パターンは少し変化する。したがって、同じ物体の姿勢を変えて、多数計測したデータに基づいて構成された静電容量パターンを学習データとすることによって、物体の姿勢を判定する能力を学習し、物体の姿勢を検出することができる。

【 0 0 4 9 】

複数の電極 1 1 に対して、物体が移動すると、移動に応じて計測されるパターンが変化する。移動前の静電容量パターンと移動後の静電容量パターンを組み合わせる学習を行うことによって、物体が移動したか否かを判定する能力を獲得し、物体の移動を検出することができる。

【 0 0 5 0 】

静電容量パターン学習部 6 0 による学習が完了すると、静電容量パターン学習部 6 0 を構成するニューラルネットワークが静電容量パターンを学習して所定の認識能力を獲得した状態になる。静電容量パターン学習部 6 0 は、獲得した能力を静電容量パターン認識部 7 0 が利用できるように、学習済みのニューラルネットワークを複製又は変換等して、学習済みのニューラルネットワークを再構成するための情報を作成し、静電容量パターン認識部 7 0 に渡す。

【 0 0 5 1 】

静電容量パターン認識部 7 0 は、静電容量パターン学習部 6 0 による学習の結果得られた能力を利用して静電容量パターンを認識することによって、複数の電極 1 1 の付近にある物体の存在状態を判定する。静電容量パターン認識部 7 0 は、静電容量パターン学習部 6 0 から学習済みのニューラルネットワークを再構成するための情報を受け取り、学習済みのニューラルネットワークを再構成する。これにより、静電容量パターン認識部 7 0 は、物体の存在状態を判定できるようになる。すなわち、学習済みのニューラルネットワークに静電容量パターン計測部 5 0 により計測された静電容量パターンを入力して演算することで、物体の状態を判定する。例えば、物体の存在状態の分類、物体の存在有無、物体の位置、物体の種類、物体の姿勢、物体の材質、物体の分布等の状態を判定することができる。これら以外にも、例えば上記の変化を識別する能力や、変化を分類する能力、変化を予測する能力など、静電容量パターンに差を引き起こすような物体の存在状態を識別するさまざまな能力を獲得することができる。

【 0 0 5 2 】

認識結果出力部 8 0 は、静電容量パターン認識部 7 0 に静電容量パターンを入力することにより判定された結果を出力する。例えば、存在の有無を判定する場合に、識別対象の識別子 (I D) が判定できた場合には、それを出力してもよい。また、特定の対象が存在

10

20

30

40

50

するか否かを判定し、特定の対象の有無を検出する場合には、「対象が検出された」旨の情報を出力してもよい。さらに、識別した状態を可視化してもよい。例えば、物体の形状を示す画像を表示することで、どのような物体であるかが見てわかるようしてもよい。識別した物体の姿勢を画像に反映することで、物体の姿勢が見てわかるようしてもよい。識別した動きを画像に反映することで、動きを可視化してもよい。

【0053】

図2A及び図2Bは、複数の電極11の配置例を示す図である。図2Aは、電極11を縦横のマトリクス状に配置した例である。例えば、電極11が $N \times M$ 個のマトリクス状に並んでいる場合、選択部30は、 $N \times M C_2$ 通りの電極ペアを選択することとしてよい。このとき、選択部30は、マトリクス状に並んだ複数の電極11のうち任意の電極を選択し切り替えることのできるスイッチマトリクスを含んでもよい。縦または横に隣り合った電極など、近くにある2つの電極11を組み合わせた場合には、それらの電極付近にある物体の誘電率の影響を強く受ける。他方、離れた位置にある2つの電極11が選択されると、広い範囲の物体の影響を受ける。

10

【0054】

したがって、特定の1つの電極11*i*と組み合わせる電極を変えて複数の電極ペアの静電容量を計測すると、その特定の電極11*i*の周辺付近の空間について、より詳しく物体の存在に関する情報が得ることができる。また、別の特定の1つの電極11*j*を用いると、別の空間についてより詳しく物体の存在に関する情報が得られる。さらに別の電極11*k*、11*m*、・・・というように、特定の電極を順次用いて複数の電極ペアの静電容量を計測することによって、段階的により詳しく物体の存在に関する情報を得ることができるようになる。

20

【0055】

例えば、図2Aに図示した 5×5 のマトリクスに配置した電極から2つの電極を選択する組み合わせは、300種類ある。これらの電極の組み合わせを用いて静電容量を計測すると、300組の静電容量データが得られる。これら一連の静電容量データによって構成される静電容量パターンは、複数の電極11が配置された矩形領域付近にある物体の存在状態を反映している。なお、静電容量パターンを構成するとき、複数の電極11の中から2つの電極を選択する全ての組み合わせ(ここでは300組)を用いてもよいし、組み合わせの一部を用いてもよい。

30

【0056】

図2Bは、マトリクス状に並んだ複数の電極11で構成される第1電極群10aと第2電極群10bとを対向して配置した例である。選択部30は、第1電極群のうちから電極ペアを選択することもできるし、第2電極群のうちから電極ペアを選択することもできるし、第1電極群と第2電極群にまたがる電極ペアを選択することもできる。

【0057】

図2Aの配置では、電極平面に比較的近い空間にある物体の存在状態を判定できる。これに対して、図2Bのように、対向して2群の電極を配置した場合は、2群の電極群で挟まれる空間にある物体の存在状態を判定できる。例えば、第1群と第2群のそれぞれから、いずれかの電極を選択して組み合わせることによって、電極平面から離れた位置にある物体の影響を計測しやすくなる。

40

【0058】

なお、図2A及び図2Bの例に限らず、電極ペアの組み合わせは必ずしも全て用いる必要はなく、任意の組み合わせを選択できる。また、電極数は一例にすぎず、任意数の電極を用いることができる。電極11の形状と大きさは任意でよく、電極の設置位置も任意でよい。例えば、自動車の車室内に、乗員を取り囲むように複数の電極11を設置することができる。これにより、車室内等の囲まれた空間にある物体の存在状態を判定でき、立体的な形状や状態を判定しやすくなる。また、判定したい空間の形状と、物体の状態に応じて電極11の位置と大きさを設定できる。後述のロボットハンドの事例のように、移動手段を用いて、電極11の位置や姿勢を変えてもよい。

50

【0059】

図3は、第1実施形態に係る状態判定システム1の具体的なシステム構成の一例を示す図である。同図に示すとおり、状態判定システム1は、電極群10に接続された状態判定装置100と、学習装置200と、学習データ作成装置300と、学習データベース装置400とが、ネットワークNを介して相互に接続可能に構成される。

【0060】

状態判定装置100は、図1に示した電極接続部20と、選択部30と静電容量パターン計測部50と、静電容量パターン認識部70と、認識結果出力部80とを実質的に含み、電極群10に含まれる複数の電極11の静電容量パターンに基づいて、複数の電極11の周辺にある物体の状態を判定する。

10

【0061】

学習装置200は、図1に示した静電容量パターン学習部60を実質的に含む。学習装置200は、学習データベース装置400に蓄積された静電容量パターンを含む学習データを用いて機械学習を行うことでニューラルネットワークの学習を行い、複数の電極の周辺にある物体の状態を、静電容量パターンから認識する能力を獲得する。学習装置200において獲得された能力は、直接又は学習データベース装置400を介して状態判定装置100に渡される。

【0062】

学習データ作成装置300は、獲得しようとする能力の種類に応じて必要となる学習データや教師データを作成し、学習データベース装置400に蓄積する。図3に示すシステム構成においては、学習データ作成装置300が学習データを作成する際、状態判定装置100を介して、電極群10に含まれる複数の電極11の静電容量パターンと、当該静電容量パターンが得られたときの電極11周辺の物体の存在状態とを取得し、例えば、静電容量パターンに基づいて学習データを作成し、そのときの物体の存在状態に基づいて教師データを作成する。

20

【0063】

例えば、物体の存在状態を分類する能力を獲得しようとする場合、物体の複数の存在状態それぞれに対して所定のパリエーションで静電容量パターンを計測し、これを学習データとすることができる。すなわち、学習データの対象となる複数の物体の存在状態に対する静電容量パターンをそれぞれ計測して記録したデータが、学習データとして用いられる。教師データについては、それぞれの静電容量パターンに対して、物体の存在状態を識別するための情報を教師データとして学習データに関連づけて記録する。このとき、教師データを学習データと別のデータとして関連付けてもよいし、学習データに教師データを含ませるものとしてもよい。物体を、単に複数のグループに分類できればよい場合、教師データを含まなくてもよい。

30

【0064】

物体の存在状態の変化を分類する能力を獲得しようとする場合、静電容量パターンの時系列のデータが必要となるため、例えば、変化の内容を示す教師データを含む学習データを作成する。物体の存在状態を予測する能力を獲得しようとする場合、例えば、存在状態の内容に関する教師データを含む静電容量パターンの時系列データを用いて、物体の存在状態を予測する学習を行うことができる。

40

【0065】

学習データ作成装置300に実装される学習データ生成プログラムにより、学習データを自動生成することができる。例えばディープラーニングによる学習には多くのデータを必要とするため、静電容量パターンの取得から学習データベース装置400への登録までの一連の作業を自動化することで、作業工数を大きく削減することができる。例えば、複数の電極11の周辺に物体を近づけて、当該物体の位置や姿勢を変更する動作をロボットに指令して、さまざまな位置や姿勢と方向における静電容量パターンを、そのときの物体の位置、姿勢及び方向と対応付けて取得するようにすることで、人が作業を行わずに学習データと教師データを自動的に生成することができる。学習データ作成装置300は、マ

50

ニューラル操作により学習データを生成してもよい。また、学習データや教師データとして、学習に関連し得る任意の情報を組み合わせてもよい。

【 0 0 6 6 】

なお、電極 1 1 と物体の位置関係に応じて静電容量パターンが計測されるため、電極 1 1 の配置は学習結果に影響を与え得る。そのため、学習データは電極の配置に関する情報を含むものとしてもよい。また、学習データ作成装置 3 0 0 の有する機能を、状態判定装置 1 0 0 又は学習装置 2 0 0 が備えるものとしてもよい。この場合、状態判定装置 1 0 0 又は学習装置 2 0 0 から出力されるデータを学習データベース装置 4 0 0 に蓄積したり、学習装置 2 0 0 に入力ないし利用したりすることで、学習データや教師データとして用いることができる。

10

【 0 0 6 7 】

学習データベース装置 4 0 0 は、学習データ作成装置 3 0 0 が作成した学習データや学習プログラムなど学習に関連するデータやプログラム、その設定等を記録する機能を備える。学習データ作成装置 3 0 0 が作成した学習データや教師データは、学習データベース装置 4 0 0 に渡され、学習データに関する情報として記録される。

【 0 0 6 8 】

図 4 は、本実施形態における状態判定装置 1 0 0 の構成を示すブロック図である。同図に示す構成のうち、電極接続部 1 2 0、選択部 1 3 0、静電容量パターン計測部 1 5 0 及びニューラルネットワーク出力部 1 8 0 は、それぞれ図 1 の電極接続部 2 0、選択部 3 0、静電容量パターン計測部 5 0 及び認識結果出力部 8 0 に相当する機能を有するものであるので、説明を省略する。学習結果入力部 1 7 1 と、制御部 1 7 2 と、ニューラルネットワーク設定部 1 7 3 と、ニューラルネットワーク入力部 1 7 4 と、ニューラルネットワーク 1 7 5 とが、図 1 の静電容量パターン認識部 7 0 に相当する機能を有する。

20

【 0 0 6 9 】

学習結果入力部 1 7 1 は、学習装置 2 0 0 における学習の結果として獲得された能力に関する情報を受け付けて、状態判定装置 1 0 0 に入力する。ここでは、学習装置 2 0 0 から出力された学習済みのニューラルネットワークを再構成するために必要なデータが入力される。制御部 1 7 2 は、状態判定装置 1 0 0 の各構成における処理を制御するものであり、例えば、学習データ作成装置 3 0 0 からの指示を受けて、電極群 1 0 から取得した静電容量パターンを、通信部 1 9 0 を介して学習データ作成装置 3 0 0 へ出力する。また、制御部 1 7 2 は、学習結果入力部 1 7 1 から入力された学習済みのニューラルネットワークを再構成するために必要なデータを、ニューラルネットワーク設定部 1 7 3 に渡す。ニューラルネットワーク設定部 1 7 3 は、このデータに基づいて、ニューラルネットワーク 1 7 5 を再構成する。これにより、ニューラルネットワーク 1 7 5 は、学習装置 2 0 0 における学習の結果として獲得された能力を再現することができるようになる。

30

【 0 0 7 0 】

ニューラルネットワーク入力部 1 7 4 は、静電容量パターン計測部 1 5 から静電容量パターンを取得し、ニューラルネットワーク 1 7 5 へ入力する。ニューラルネットワーク 1 7 5 は、入力された静電容量パターンに対して演算を行い、演算結果を出力する。この演算結果は、複数の電極 1 1 の周辺にある物体の存在状態の判定結果、すなわち物体の認識結果に相当するものであり、この認識結果をニューラルネットワーク出力部 1 8 0 から出力する。なお、ニューラルネットワークに換えて、機械学習可能な任意の学習モジュールを用いてもよい。ニューラルネットワーク 1 7 5 の演算結果として、物体の種類を判定し、物体の種類に割り振られた ID を出力することとしてもよい。

40

【 0 0 7 1 】

ニューラルネットワーク出力部 1 8 0 は、物体の認識結果として、例えば、複数の電極 1 1 の周辺における物体の存在状態の分類、物体の存在有無、物体の位置、物体の種類、物体の姿勢、物体の材質、物体の分布等の状態を出力することができる。出力される認識結果はこれらに限られず、他にも例えば、物体の存在状態の変化、変化の分類、変化の予測などを出力することができる。なお、物体の種類とは、例えば、形、重さ及び大きさが

50

類似した複数種類の物体（例えば林檎と梨）が存在する場合に、その種類の別をいう。また、ニューラルネットワーク出力部 180 は、判定した物体の存在状態から画像や動画を生成し、物体の存在状態を可視化してユーザに提示してもよい。

【0072】

図5は、本実施形態における学習装置200の構成を示すブロック図である。同図に示すとおり、学習装置200は、ニューラルネットワーク210、学習制御部220、学習結果抽出部230、学習結果出力部240及び通信部250を含み、これらがネットワーク（内部バス等を含む）を介して相互に接続され得る。

【0073】

ニューラルネットワーク210は、ニューラルネットワークとしての機能を有し、学習により所定の能力を獲得することができる。学習装置200は学習データベース装置400に記録された学習データや教師データを用いてニューラルネットワーク210を学習させることによって、所定の能力を獲得する。ニューラルネットワーク210は、入力層に対し静電容量パターンベクトルが入力され、出力層から物体の存在状態を表すベクトルが出力されるものであってよい。なお、ニューラルネットワークに換えて、機械学習可能な学習モジュールを用いてもよい。

10

【0074】

学習制御部220は、学習プログラムを実行して学習装置200における機械学習を制御する。学習制御部220は、学習プログラムが実行されることにより、ユーザから受け付けた所定の学習依頼に応じて学習を実行し、学習データを用いてニューラルネットワーク210に所定の能力を獲得させる学習を行うよう制御する。例えばディープラーニング技術を用いた学習プログラムを使用して学習を実行することで、ニューラルネットワーク210に所定の能力を獲得させることができる。ニューラルネットワーク210としては、物体の静的な状態を学習するために、画像認識に用いられる場合がある畳み込みニューラルネットワーク（Convolutional Neural Network：CNN）を用いてもよい。また、物体の動的な状態を学習するために、再帰型ニューラルネットワーク（Recurrent Neural Network：RNN）を用いてもよい。

20

【0075】

学習結果抽出部230は、ニューラルネットワーク210が学習した結果を抽出する。学習結果出力部240は、通信部250を介して、学習結果を外部に出力する。本実施形態においては、例えば、学習の結果、学習装置200は、物体の存在状態を判定する能力を獲得できる。

30

【0076】

学習装置200は、一般的なコンピュータ上で所定のプログラムを実行させることによって実装してもよい。このとき、学習処理の処理量が多いので、高速で動作するCPUを備えたコンピュータを用いるとよい。GPUを用いると、繰り返し演算処理を高速化できる。ブレードコンピュータをラックマウントしたサーバ装置を用いることで、処理を並列化してスループットを上げることができる。複数の依頼者からの依頼を受け付ける場合、サーバ装置を多重化して並列度を上げることができる。

【0077】

40

図6は、状態判定システム1を構成する各装置のハードウェア構成の一例を示すブロック図である。状態判定装置100、学習装置200、学習データ作成装置300、学習データベース装置400などの各装置は、同図に示すように、CPU610、ROM620やRAM630等のメモリ、各種の情報を記憶する記憶装置640、入出力部650、通信部660及びこれらを結ぶネットワークないしバスを備える汎用又は専用のコンピュータを適用することができる。各装置は、例えば、CPU610が、メモリ又は記憶装置640に記憶された所定のプログラムを実行することにより、上述した機能ブロックを実現し得る。プログラムは、CD-ROM等の光学ディスク、磁気ディスク、半導体メモリなどの各種の記録媒体を通じて、又は通信ネットワークなどを介してダウンロードすることにより、各装置を構成するコンピュータにインストール又はロードすることができる。

50

【 0 0 7 8 】

次に、図 7 乃至図 9 を参照して本実施形態に係るシステムの処理フローについて説明する。

【 0 0 7 9 】

図 7 は、本実施形態に係る学習データ作成装置 3 0 0 における学習データ作成処理のフローチャートである。学習データ作成処理は、状態判定装置 1 0 0 によって物体の認識処理が実行されるのに先立って行われる処理である。はじめに、学習データ作成装置 3 0 0 は、複数の電極 1 1 周辺にある物体の存在状態に関する情報を含む教師データを作成する (S 1 0)。教師データには、複数の電極 1 1 の配置に関する情報を含めてもよい。ここで、物体の存在状態に関する情報は、ユーザによって学習データ作成装置 3 0 0 の入力部 (不図示) により入力されたものであってよい。ユーザは、物体の存在状態に関する情報として、例えば、物体の位置、角度、種類、材質及び分布を表す数値を入力する。学習データ作成装置 3 0 0 は、入力された数値から物体の存在状態に関する情報を表すベクトルを構成して教師データに含めてよい。また、電極 1 1 の配置に関する情報は、ユーザによって学習データ作成装置 3 0 0 の入力部により入力されたものであってよい。ユーザは、例えば、電極の大きさや位置、角度、材質を入力し、学習データ作成装置 3 0 0 は、それらの数値から電極の配置に関する情報を表すベクトルを構成して教師データに含めてよい。また、電極群 1 0 に対して予め電極の配置に関する情報が付与されている場合には、その情報を参照してもよい。

10

【 0 0 8 0 】

教師データは、物体の存在状態に関する情報として画像又は動画を含んでもよい。物体の存在状態を画像又は動画により示すことで、ユーザが物体の存在状態を数値化する必要がなくなり、物体の存在状態を客観的に示すことができ、客観性の高いニューラルネットワークの学習が行え、より汎用性の高いニューラルネットワークの学習結果が得られる。

20

【 0 0 8 1 】

複数の電極 1 1 が移動可能又は回転可能に設けられている場合、学習データ作成装置 3 0 0 の指示に応じて、ユーザ、ロボット又は状態判定装置 1 0 0 は、個々の電極 1 1 を教師データの配置にする (S 1 1)。電極 1 1 の配置を固定せず、電極 1 1 を物体に対してより柔軟に配置することで、物体の存在状態をより詳細に反映した学習データを生成し得る。なお、複数の電極 1 1 が固定されて設けられている場合、個々の電極 1 1 を教師データの配置にするステップは省略可能である。

30

【 0 0 8 2 】

学習データ作成装置 3 0 0 は、物体の存在状態を、教師データに含まれる物体の存在状態に関する情報に基づいた存在状態に設定する (S 1 2)。次に、学習データ作成装置 3 0 0 は、電極ペアリストを参照して、電極群 1 0 から電極ペアを選択する (S 1 3)。学習データ作成装置 3 0 0 は、例えば、選択された電極ペアに所定の電圧を印加して、静電容量を計測し (S 1 4)、計測した静電容量を静電容量パターンベクトルに記録する (S 1 5)。静電容量パターンベクトルは、計測された静電容量の値を要素を含むベクトルである。

【 0 0 8 3 】

学習データ作成装置 3 0 0 は、電極ペアリストに含まれる電極ペアのうち、選択されていない電極ペアの組み合わせが残されているか否かを判断する (S 1 6)。選択されていない電極ペアの組み合わせが残されている場合 (S 1 6 : Y e s)、ステップ S 1 3 に戻り、新たな電極ペアを選択して、新たな電極ペアについて静電容量の計測を行い、静電容量パターンベクトルに追加する。選択されていない電極ペアの組み合わせが電極ペアリストに残されていない場合 (S 1 6 : N o)、得られた静電容量パターンに教師データを付与する (S 1 7)。その後、学習データ作成装置 3 0 0 は、得られた静電容量パターンを教師データと関連付けて、学習データベース装置 4 0 0 に記録する (S 1 8)。

40

【 0 0 8 4 】

学習データ作成装置 3 0 0 は、物体の他の存在状態について静電容量パターンを計測す

50

るか否かを判断する(S19)。物体の他の存在状態について静電容量パターンを計測する場合(S19: Yes)、学習データ作成装置300は、ステップS10に戻り、上述した処理を他の物体について再び実行する。一方、物体の他の存在状態について静電容量パターンを計測しない場合(S19: No)、学習データ作成装置300は、電極群10の他の電極配置があるか否かを判断する(S20)。電極群10の他の電極配置がある場合(S20: Yes)、学習データ作成装置300は、以上説明した処理を当該他の電極配置について再び実行する。一方、電極群10の他の電極配置が無い場合(S20: No)、学習データ作成装置300による学習データ作成処理が終了する。

【0085】

本実施形態に係る学習データ作成装置300によれば、電極群10に関して計測された物体に関する静電容量パターンを含む学習データと、物体の存在状態に関する情報を含む教師データとを関連付けて作成することができる。学習装置200は、静電容量パターンを含む学習データと教師データを用いて学習することにより、単一の電極ペア間の静電容量の変化を利用する場合に比較して、物体の存在状態をより詳細に判定する能力を獲得できるようになる。

【0086】

図8は、本実施形態に係る学習装置200における学習処理のフローチャートである。ここでは、学習データ作成装置300による学習データ作成処理が行われた後に学習処理が実行されるものとして説明するが、これに限られず、例えば、学習データ作成装置300による学習データ作成処理と並行して学習処理を実行してもよい。はじめに、学習装置200は、学習データベース装置400にアクセスし(S30)、学習に用いる学習データを指定する(S31)。学習装置200は、指定した学習データに含まれる静電容量パターンを順次読み込み、ニューラルネットワーク210の学習を行う(S32)。ニューラルネットワーク210の学習は、例えば誤差逆伝播法により実行される学習であってよい。学習装置200は、学習結果抽出部230によってニューラルネットワーク210が学習した結果を抽出し、学習結果出力部240によって、通信部250を介して学習結果を学習データベース装置400又は任意の外部記憶装置に出力する(S33)。

【0087】

最後に、学習装置200は、さらに別の学習を行うか否かを判断する(S34)。別の学習を行う場合(S34: Yes)、異なる学習データを指定して、ニューラルネットワークの学習を再び実行する。別の学習を行わない場合(S34: No)、学習処理は終了する。

【0088】

図9は、本実施形態に係る状態判定装置100における物体の認識処理のフローチャートである。物体の認識処理は、典型的には、学習装置200によってニューラルネットワークの学習が行われた後に行われる処理である。はじめに、状態判定装置100は、学習データベース装置400にアクセスして、学習装置200により出力された学習結果を学習結果入力部171により入力し、ニューラルネットワーク設定部173によってニューラルネットワーク175を構成する(S40)。これにより、ニューラルネットワーク175は、学習装置200における学習の結果として獲得された能力を再現することができるようになる。

【0089】

複数の電極11の周辺に認識しようとする物体があるときに、状態判定装置100は、複数の電極11のうちから複数通りの電極ペアを選択して、当該物体についての静電容量パターンを計測し(S41)、ニューラルネットワーク入力部174が、ニューラルネットワーク175に静電容量パターンを入力する(S42)。この入力に対して、ニューラルネットワーク175は、演算を行い(S43)、ニューラルネットワーク出力部180は、演算結果を出力する。状態判定装置100は、出力された演算結果から、物体の存在状態を判定し、すなわち物体の認識結果を生成し(S44)、物体の認識結果を出力する(S45)。出力される認識結果は、例えば、物体の存在の有無、位置、種類、姿勢、材

10

20

30

40

50

質、分布などであるが、これらに限られない。

【0090】

状態判定装置100は、物体の認識処理を終了するか否かを判断し(S46)、物体の認識動作を終了しない場合(S46:No)、静電容量パターンを更新して、ニューラルネットワーク175による物体の認識処理を再び実行する。物体の認識動作を終了する場合(S46:Yes)、物体の認識処理を終了する。

【0091】

以上詳述したとおり、本実施形態に係る状態判定装置100によれば、電極群10に含まれる複数の電極11のうちから複数通りの電極ペアを選択して静電容量パターンを計測し、静電容量パターンに基づいて物体の存在状態を判定することにより、単一の電極ペア間の静電容量の変化を利用する場合に比較して、物体の存在状態をより詳細に判定することができる。

【0092】

[第2実施形態]

次に、第2実施形態として、状態判定システム1をロボットハンドに適用した実施形態について説明する。

【0093】

図10は、電極11がロボットハンド700に設けられている様子を示す図である。同図に示すとおり、本実施形態では、複数の電極11及びガード電極12がロボットハンド700に設けられる。後述するように、状態判定装置100が、ロボットハンド700に設けられた複数の電極11について静電容量パターンを計測し、ロボットハンド700によって把持されたり操作されたりする物体OBの存在状態を判定する。ここで、ロボットハンド700は、典型的には、多関節のアーム部分と、アーム部分の先端に設けられた多肢多関節のハンド部分とから構成される。なお、複数の電極をロボットハンド700に設ける態様は、例示であって、複数の電極の設置個所はロボットハンド700に限られず任意である。

【0094】

電極11は、平面導体で構成され、ロボットハンド700の手のひら側に設けられる。本例では、電極11は、各指先と、各指の第2関節と第3関節の間と、手のひらと、にそれぞれマトリクス状に並んで設けられている。ガード電極12は、複数の電極11の少なくとも一部を囲むように配置され、平面導体で構成される。ガード電極12は、ロボットハンド700の手のひら側に設けられ、本例では、各指先と、各指の第2関節と第3関節の間と、手のひらと、にそれぞれ電極11を囲むように設けられている。なお、同図に示した電極11及びガード電極12の配置は例示であり、電極11及びガード電極12の配置は任意である。電極11が小さいほど、より小さい領域に関する物体OBの状態を判定でき電極11が大きいほど、より大きい領域に関する物体OBの状態を判定できる。

【0095】

ロボットハンド700の前方には、物体OBが配置されている。物体OBは、任意の物体であり、液体や気体であってもよい。物体OBは、人体等の生物であってもよいし、工具等の非生物であってもよい。また、物体OBは、導電体、半導体及び絶縁体のいずれであってもよいし、透明物体でも不透明物体でもよい。

【0096】

複数の電極11をロボットハンド700に設けて、複数の電極11の静電容量パターンから物体OBの状態を判定することで、ロボットハンド700によって把持されたり操作されたりする物体の状態を判定することができ、ロボットハンド700によるより精密な動作を支援することができる。例えば、ロボットハンド700によって物体を把持する場合に、ロボットハンド700の複数の指を物体に対して均等に近付けるよう動作させることができる。

【0097】

図11は、第2実施形態に係る状態判定装置100の機能ブロック図である。状態判定

10

20

30

40

50

装置 100 は、電極 11 及びガード電極 12 に接続され、選択部 130、電圧印加部 140、静電容量パターン計測部 150、ニューラルネットワーク 175、配置取得部 161 及び環境測定部 162 を備える。なお、状態判定装置 100 は、物理的な構成として、入力部（キーボードやマウス等）、出力部（液晶ディスプレイデバイス等）、ハードウェアプロセッサに相当する演算部（CPU や GPU 等）、メモリに相当する記憶部（HDD、SSD や半導体メモリ等）を備える。同図に示す機能ブロックは、状態判定装置 100 の備える物理的な構成を用いて発揮される機能を表すものであり、必ずしも物理的な構成と一対一に対応するものではない。

【0098】

本実施形態において、電極 11 及びガード電極 12 は、ロボットハンド 700 に設けられ、全ての電極 11 及びガード電極 12 が移動可能かつ回転可能に設けられる。選択部 130 及び静電容量パターン計測部 150 は、図 4 を用いて説明したものと同様の機能を有する。

10

【0099】

電圧印加部 140 は、選択部 130 により選択された複数の電極ペアに対して、所定の電圧を印加する。電圧印加部 140 は、選択部 130 により選択された電極ペアの一方と、ガード電極 12 と、に基準電位を印加する。ここで、基準電位はグラウンド電位であってもよいが、それに限られない任意の電位であってもよい。電圧印加部 140 は、選択部 130 により選択された電極ペアに対して、直流電圧を印加してもよいし、交流電圧を印加してもよい。

20

【0100】

電圧印加部 140 により電極ペアの一方とガード電極 12 に基準電位を印加することで、ガード電極 12 によって電界が遮蔽され、電極 11 の 2 つの面のうち片面側のみの静電容量パターンを計測することができ、物体 OB の状態を判定する範囲を制限することができる。これにより、例えば、ロボットハンド 700 自体の影響や、ロボットハンド 700 の手の甲側に置かれた物体の影響を受けることなく、ロボットハンド 700 の手のひら側に置かれた物体 OB の状態を判定することができる。なお、電極 11 の一部に基準電位を印加することで、電極 11 の一部をガード電極 12 として機能させてもよい。

【0101】

配置取得部 161 は、複数の電極 11 の配置を取得する。本実施形態に係る複数の電極 11 は、ロボットハンド 700 に設けられるため、配置取得部 161 は、ロボットハンド 700 に含まれる各関節の角度を取得し、ロボットハンド 700 上の複数の電極 11 の配置を算出してもよい。ニューラルネットワーク 175 は、静電容量パターン計測部 150 により計測された静電容量パターン及び配置取得部 161 により取得された複数の電極 11 の配置を入力データとして、ロボットハンド 700 の周辺にある物体の存在状態を判定することができるように学習済みのニューラルネットワークである。

30

【0102】

環境測定部 162 は、静電容量パターン計測部 150 により複数の電極 11 の静電容量パターンを計測する際の環境に関する環境データを測定する。ここで、環境データとは、複数の電極 11 の置かれる環境を特徴付ける物理量である。環境データは、特に、静電容量の変動をもたらすような環境に関するデータを含む。本実施形態において、環境データは、湿度及び電磁ノイズのうち少なくともいずれかを含む。湿度の変化及び電磁ノイズの強弱は、誘電率の変化や静電容量パターン計測部 150 を構成する電気回路の電気的状態の変化をもたらす、計測される静電容量が変動する一因となる。ニューラルネットワーク 175 は、静電容量パターン計測部 150 により計測された静電容量パターン及び環境測定部 162 により測定された環境データを入力データとして、物体の状態を判定してもよい。判定結果は、ニューラルネットワーク出力部 180（図 11 には不図示）で出力される。

40

【0103】

環境測定部 162 は、状態判定装置 100 によって状態判定処理を実行する間、継続し

50

て環境データを測定してもよい。環境データを測定することで、静電容量パターンの環境依存性を考慮した状態判定を行うことができ、測定環境の変化に起因する状態判定の誤差を低減することができる。

【0104】

本実施形態では、環境測定部162は、環境データとして湿度及び電磁ノイズを測定する。これにより、静電容量パターンに対して特に影響を及ぼす湿度及び電磁ノイズの依存性を考慮した状態判定を行うことができ、湿度の変化及び電磁ノイズの強弱に起因する状態判定の誤差を低減することができる。

【0105】

状態判定装置100のニューラルネットワーク175には、学習装置200において、物体の存在状態を判定する能力を備えるように学習された、学習済みのニューラルネットワークが用いられる。学習の手法は、第1実施形態と同様に、学習データ作成装置300で作成し、学習データベース装置400に蓄積された学習データを用いて学習を行うことができる。

10

【0106】

具体的な一例としては、ロボットハンド700に対して所定の状態に用意された物体OBについて、ロボットハンド700を所定の配置に設定し、複数の電極11及びガード電極12を所定の配置に設定した上で、学習データ作成装置300は、選択された複数の電極ペアによって計測される静電容量パターンを構成して学習データを作成し、教師データと関連付けて学習データベース装置400に格納する。設定される電極の配置は、学習データ作成装置300の記憶部に予め記憶された電極の配置リストに従ったものであってもよいし、学習データ作成装置300のユーザによる入力に従うものであってもよいし、ランダムに行われるものであってもよい。学習データ作成装置300は、配置取得部161により取得された複数の電極11の配置や、環境測定部162により測定された環境データを、学習データ又は教師データに含めてもよい。

20

【0107】

学習装置200は、学習データ作成装置300に蓄積された学習データ及び教師データを用いて機械学習を行うことによって、所定の能力を備えた学習済みのニューラルネットワークを得ることができる。例えば、環境データを含む学習データによって機械学習を行うことで、静電容量パターンの計測環境が変化する場合であっても、静電容量パターンの環境依存性を考慮した状態判定を行い、状態判定の誤差を低減することのできる学習結果が得られる。

30

【0108】

[第3実施形態]

次に、第3実施形態として、状態判定システム1を自動車等のシートに適用した実施形態について説明する。

【0109】

図12は、第3実施形態において、複数の電極11がシート800に設けられている様子を示す図である。第3実施形態においては、複数の電極11がシート800に設けられており、ガード電極12を有さない点で、第2実施形態に係る状態判定システムと相違する。その他の構成について、第3実施形態に係る状態判定システムは、第2実施形態に係る状態判定システムと同様の構成を有する。

40

【0110】

複数の電極11をシート800に設けて、静電容量パターンを計測し、学習済みのニューラルネットワークにより物体の存在状態を判定することで、シート800に着座する者の状態について、体格や姿勢等の詳細を判定することができる。例えば、自動車のシートに着座する自動車の運転手の状態を判定することで、運転手が覚醒状態にあるか否か(運転手が居眠りをしているか否か)を判断することができる。運転手が覚醒状態に無いと判断された場合には、警告音を発生させる等して、事故を防止することができる。

【0111】

50

本発明は、以上説明した第1実施形態、第2実施形態及び第3実施形態と異なる構成によって実施してもよい。例えば、複数の電極11を工作機械等に設置して、人や物の接近等を判定し、接触防止センサとして用いることができる。また、例えば、複数の電極11を自動車のフロントガラスに設置して、降雨による雨滴の状態を判定する雨滴センサとして用いることができる。この場合、複数の電極11は透明電極で構成することが望ましい。また、例えば、複数の電極11を自動車のフロントパネルや底面に設置して、路面の状態を判定する路面センサとして用いることができる。また、例えば、複数の電極11を自動車のドアハンドルに設置して、ドアに近づく手を判定し、ドアロックの実行又は解除を意図した手の動きであるか否かを判断し、ドアロックの実行及び解除を行うことができる。また、例えば、複数の電極11をバスの乗降口周辺やトラックの荷台出口周辺に設置して、乗降客や荷物の状態の判定をすることができる。また、例えば、複数の電極11を自動車の内部に設置して、手のジェスチャー状態を判定し、オーディオ機器の操作、ドアやトランクの開閉及びパワーウィンドウの開閉といった指令を行うことができる。また、例えば、複数の電極11を自動車の外部に設置して、車両盗難等の違法行為に用いられる道具や違法行為に伴う動作を判定し、防犯センサとして用いることができる。

10

【0112】

以上説明した実施形態は、本発明の理解を容易にするためのものであり、本発明を限定して解釈するためのものではない。実施形態が備える各要素並びにその配置、材料、条件、形状及びサイズ等は、例示したものに限定されるわけではなく適宜変更することができる。また、異なる実施形態で示した構成同士を部分的に置換し又は組み合わせることが可能である。

20

【0113】

また、上記の実施形態の一部又は全部は、以下の付記のようにも記載され得るが、以下には限られない。

【0114】

(付記1)

少なくとも1つのメモリと、前記メモリと接続された少なくとも1つのハードウェアプロセッサとを備え、

前記ハードウェアプロセッサが、

複数の電極のうちから複数の電極ペアを選択し、

選択された複数の電極ペアについての静電容量パターンを計測し、

計測された静電容量パターンから物体の状態を、学習済みのニューラルネットワークにより判定する、

状態判定装置。

30

【0115】

(付記2)

複数の電極の周辺にある物体の状態を判定する状態判定方法であって、

少なくとも1つのハードウェアプロセッサによって、複数の電極のうちから複数の電極ペアを選択し、

前記ハードウェアプロセッサによって、選択された複数の電極ペアについての静電容量パターンを計測し、

前記ハードウェアプロセッサによって、計測された静電容量パターンから物体の状態を、学習済みのニューラルネットワークにより判定する、

状態判定方法。

40

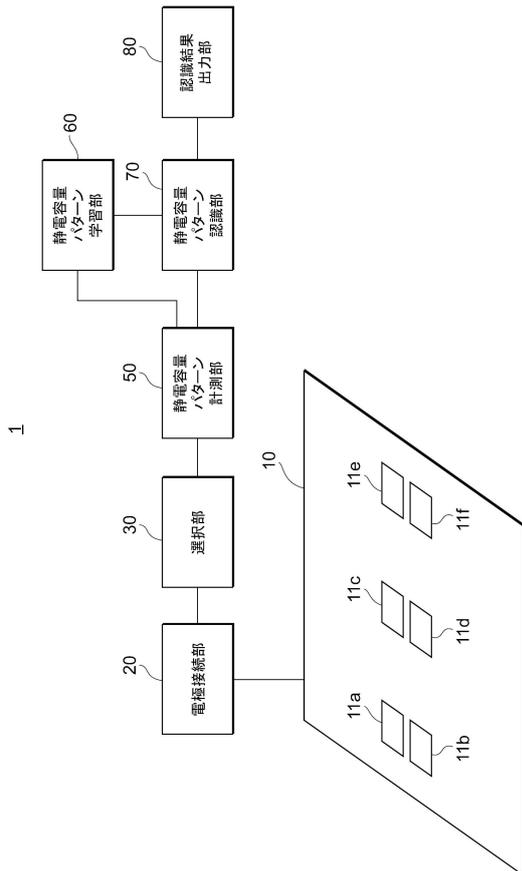
【符号の説明】**【0116】**

1...状態判定システム、10...電極群、10a...第1電極群、10b...第2電極群、11, 11a, 11b, 11c, 11d, 11e, 11f...電極、20...電極接続部、30...選択部、50...静電容量パターン計測部、60...静電容量パターン学習部、70...静電容量パターン認識部、80...認識結果出力部、100...状態判定装置、120...電極接続

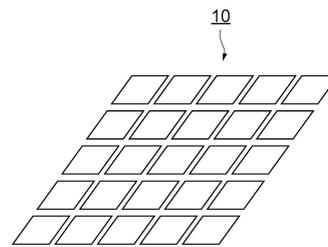
50

部、130...選択部、140...電圧印加部、150...静電容量パターン計測部、161...配置取得部、162...環境測定部、171...学習結果入力部、172...制御部、173...ニューラルネットワーク設定部、174...ニューラルネットワーク入力部、175...ニューラルネットワーク、180...ニューラルネットワーク出力部、190...通信部、200...学習装置、210...ニューラルネットワーク、220...学習制御部、230...学習結果抽出部、240...学習結果出力部、250...通信部、300...学習データ作成装置、400...学習データベース装置、610...CPU、620...ROM、630...RAM、640...記憶装置、650...入出力部、660...通信部、700...ロボットハンド、800...シート、N...ネットワーク、OB...物体。

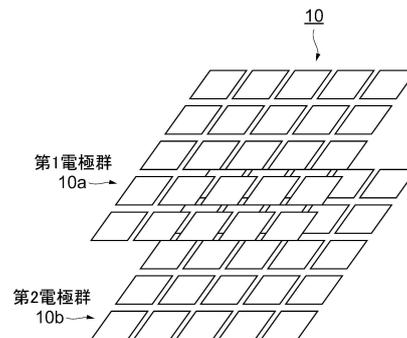
【図1】



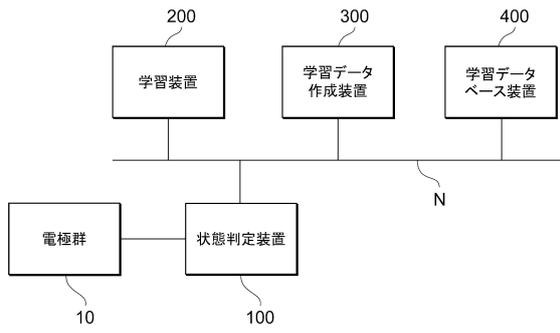
【図2A】



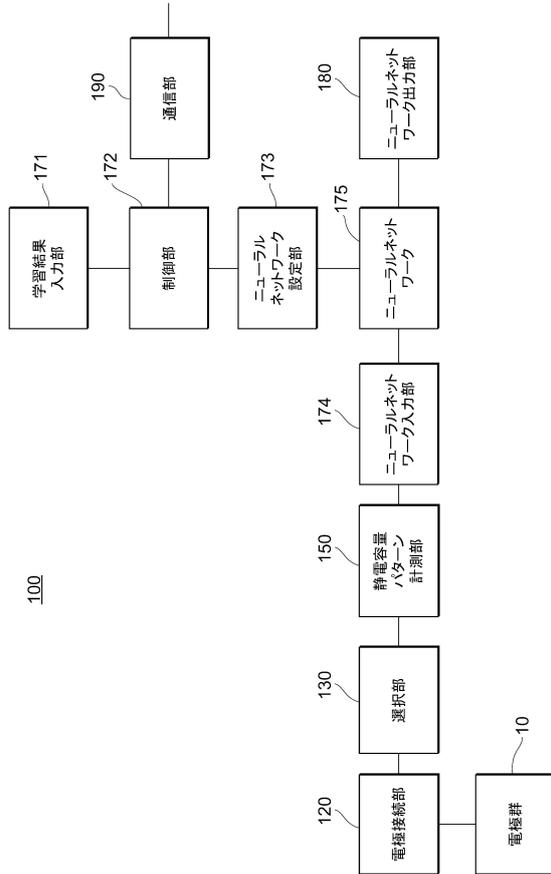
【図2B】



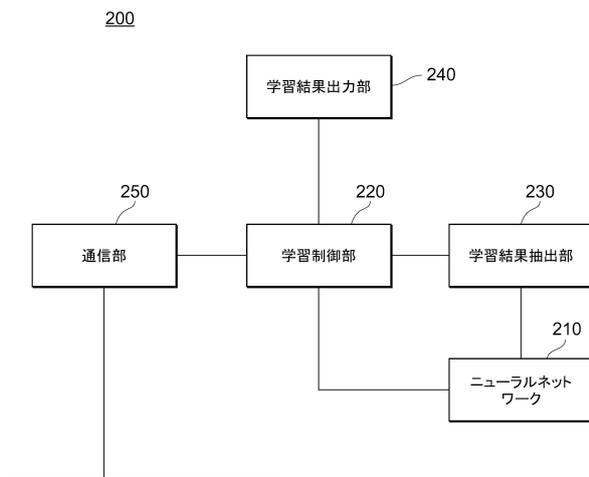
【図3】



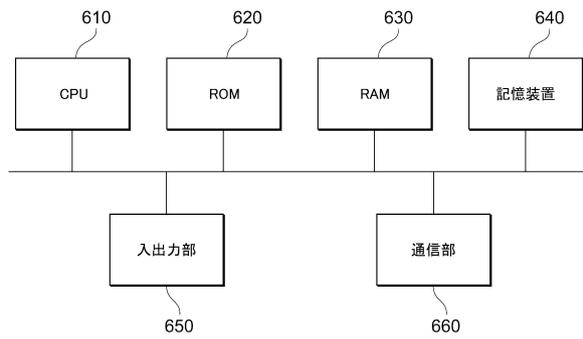
【図4】



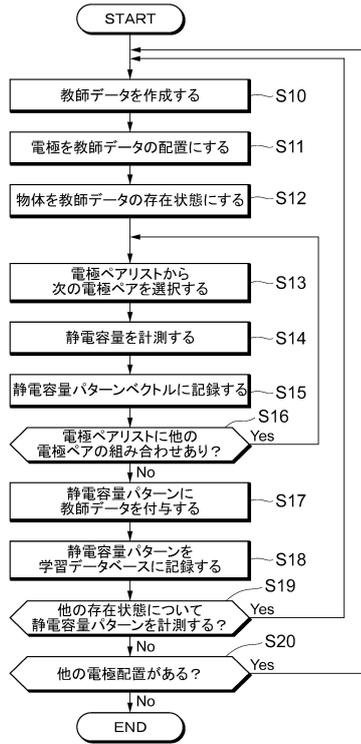
【図5】



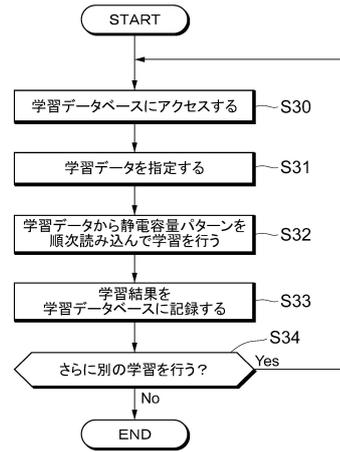
【図6】



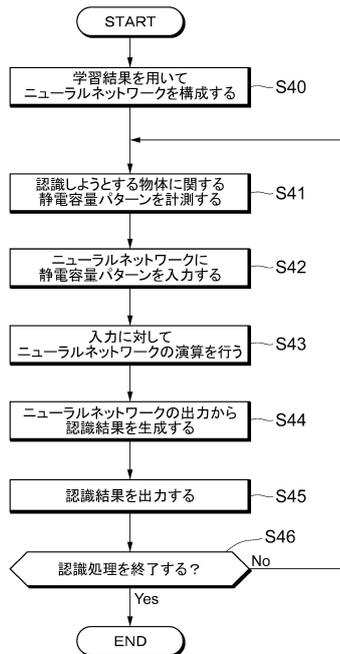
【図7】



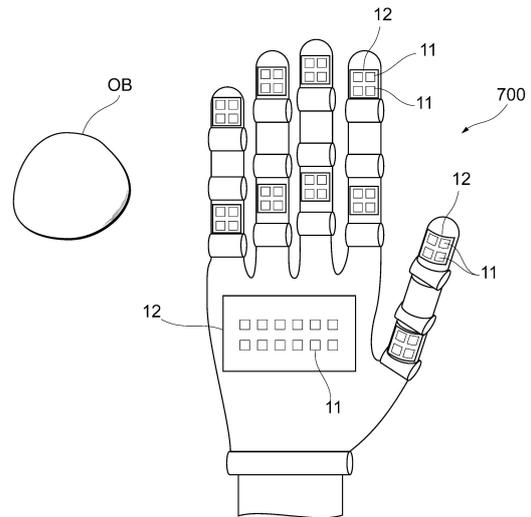
【図8】



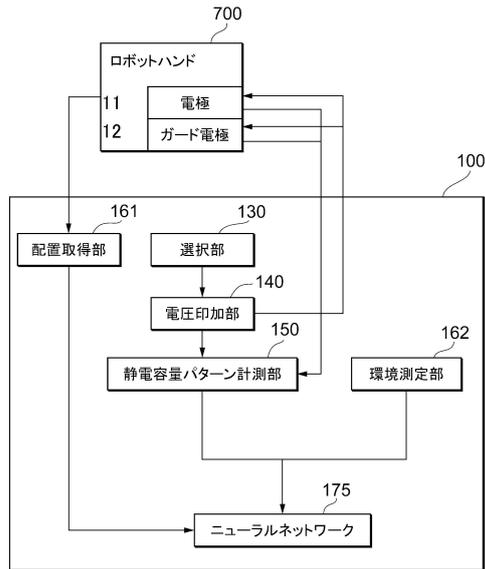
【図9】



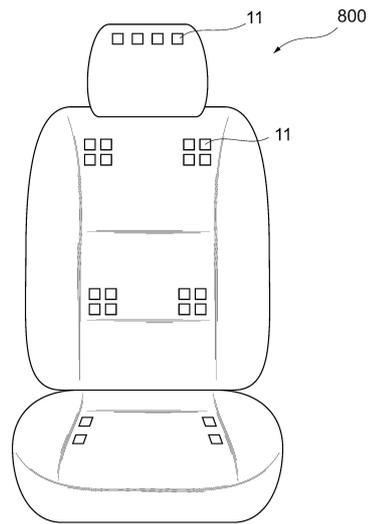
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(72)発明者 安藤 丹一

愛知県小牧市大草年上坂6368番地 オムロンオートモーティブエレクトロニクス株式会社内

審査官 山口 剛

(56)参考文献 特開2015-069541(JP,A)
国際公開第2008/032661(WO,A1)
特開2010-054350(JP,A)
特開2003-232866(JP,A)
特開2013-091114(JP,A)
特開2011-122834(JP,A)
特開2008-130865(JP,A)
特開2006-145488(JP,A)
特開2011-252881(JP,A)
特開2007-280352(JP,A)
米国特許第6158768(US,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01V 3/00 - 3/40
B25J 19/02
G01B 7/00
G01B 7/30
G08G 1/16