(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2020年2月13日(13.02.2020)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2020/031938 A1

(51) 国際特許分類:
H02P 6/16 (2016.01) *H02P 23/14* (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2019/030648

(22) 国際出願日： 2019年8月5日(05.08.2019)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(30) 優先権データ：
特願 2018-149714 2018年8月8日(08.08.2018) JP

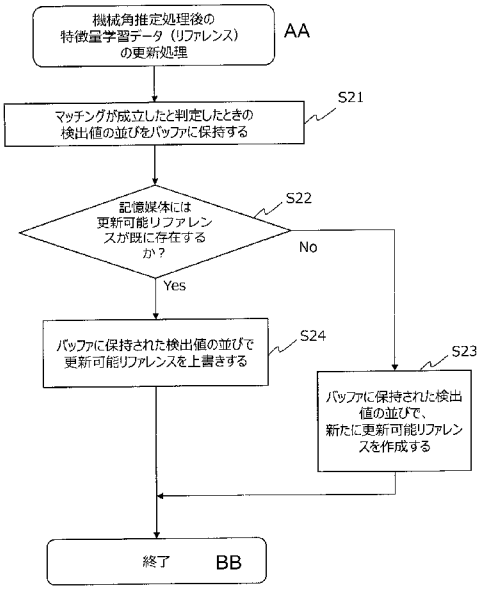
(71) 出願人: 日本電産株式会社 (**NIDEC CORPORATION**) [JP/JP]; 〒6018205 京都府京都市南区久世殿城町３３８番地 Kyoto (JP).

(72) 発明者: 居 超(**JU,Chao**); 〒6018205 京都府京都市南区久世殿城町３３８番地 日本電産株式会社内 Kyoto (JP). 高江 剛一(**TAKAE,Koichi**); 〒6018205 京都府京都市南区久世殿城町３３８番地 日本電産株式会社内 Kyoto (JP). 福村 友博(**FUKUMURA,Tomohiro**); 〒6018205 京都府京都市南区久世殿城町３３８番地 日本電産株式会社内 Kyoto (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,

(54) **Title:** POSITION ESTIMATION METHOD, MOTOR CONTROL DEVICE, AND MOTOR SYSTEM

(54) 発明の名称： 位置推定方法、モータ制御装置およびモータシステム



S21 Hold, in buffer, sequence of detection values obtained when it is determined that matching is established
S22 Is updatable reference already present in storage medium?
S23 Create newly updatable reference with sequence of detection values held in buffer
S24 Overwrite updatable reference with sequence of detection values held in buffer
AA Update processing of feature amount learning data (reference) after mechanical angle estimation processing
BB End

(57) **Abstract:** The position estimation method according to the present disclosure includes: obtaining first learning data including a sequence of a plurality of measurement values specifying the waveform feature of a first electric signal output from a sensor device when a rotor rotates; sequentially obtaining a sequence of a plurality of detection values specifying the waveform feature of a second electric signal output from the sensor device when the rotor rotates; estimating, using the plurality of measurement values and the plurality of detection values, the relationship between the rotation positions of the

WO 2020/031938 A1

［続葉有］

MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

rotor when the respective first and second electric signals are output; and storing, into a storage medium, second learning data that include the sequence of the plurality of detection values specifying the waveform feature of the second electric signal output from the sensor device and specify the relationship between a plurality of segment regions specifying the mechanical position of the rotor and the plurality of detection values.

(57) 要約:本開示の位置推定方法は、ロータが回転しているときにセンサ装置から出力された第１電気信号の波形特徴を規定する複数の測定値の並びを含む第１学習データを取得すること、ロータが回転しているときにセンサ装置から出力された第２電気信号の波形特徴を規定する複数の検出値の並びを順次取得すること、複数の測定値および複数の検出値を用いて、第１および第２の各電気信号が出力されたときのロータの回転位置の関係を推定すること、センサ装置から出力された第２電気信号の波形特徴を規定する複数の検出値の並びを含む第２学習データであって、ロータの機械位置を規定する複数の区分領域と複数の検出値との関係が規定されている第２学習データを記憶媒体に記憶することを含む。

明　細　書

発明の名称 ：

位置推定方法、モータ制御装置およびモータシステム

技術分野

[0001] 本願は、ロータの機械角を高い精度で推定する方法に関する。また、本願は、モータ制御装置およびモータシステムにも関する。

背景技術

[0002] 永久磁石同期モータなどのモータは、一般に、複数の磁極を有するロータと、複数の巻線を有するステータと、ロータの磁極が形成する磁束をセンシングするホール素子またはホールＩＣなどの磁気センサとを備えている。ロータの物理的な回転位置（機械角）を高精度で計測することが必要な場合、ロータリ・エンコーダまたはレゾルバなどの位置センサが利用される。これらの位置センサは、モータシステムの小型化を難しくし、その製造コストを増加させる。

[0003] 日本国公開公報特開２００２－１１２５７９号公報は、ホールＩＣの出力に基づいてロータの位相（電気角）を推定する位相検出装置を開示している。この位相検出装置では、ホールＩＣの出力から周期的に得られる位相信号（電気角６０°単位で発生するパルス信号）とロータの回転速度とを用いて、ロータの電気角が算出される。このような位相検出装置によれば、ロータリ・エンコーダまたはレゾルバなどの位置センサを用いることなく、ロータのおよその電気角を推定することが可能になる。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：日本国公開公報特開２００２－１１２５７９号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 日本国公開公報特開２００２－１１２５７９号公報の位相検出装置は、ロ

ータが複数の磁極対を有する場合、ホールＩＣから信号がロータのいずれの磁極対によって発生した信号であるかを判別できない。また、ホールＩＣの出力から周期的に得られる位相信号が等しい間隔で発生する信号として扱われている。後に詳しく説明するように、このような位相信号の間隔はばらつく。このため、上記の位相検出装置では、ロータの機械角を高精度で推定することはできない。

[0006] 本開示の実施形態は、新しいアルゴリズムによってロータの機械角を推定する方法、モータ制御装置、およびモータシステムを提供する。

課題を解決するための手段

[0007] 本開示の方法は、例示的な実施形態において、ロータ、ステータ、および前記ロータの回転に応じて周期的に変化する電気信号を出力するセンサ装置を有するモータにおける前記ロータの位置を推定する、コンピュータに実装された方法であって、コンピュータは、前記ロータが回転しているときに前記センサ装置から出力された第１の電気信号の波形特徴を規定する複数の測定値の並びを含む第１の特徴量学習データであって、前記ロータの機械位置を規定する複数の区分領域と前記複数の測定値との関係が規定されている第１の特徴量学習データを記憶する記憶媒体から、前記特徴量学習データを取得すること、前記ロータが回転しているとき、前記センサ装置から出力された第２の電気信号を受け取り、前記第２の電気信号の波形特徴を規定する複数の検出値を、それぞれ、順次、取得すること、前記複数の検出値のうちの最新の検出値を含む少なくとも１個の検出値と、前記第１の特徴量学習データに含まれる前記複数の測定値の並びとの間でマッチングを行うことにより、前記ロータの現在の機械位置に関係づけられた区分領域を決定すること、前記ロータが回転しているときに前記センサ装置から出力された前記第２の電気信号の波形特徴を規定する複数の検出値の並びを含む第２の特徴量学習データであって、前記ロータの機械位置を規定する複数の区分領域と前記複数の検出値との関係が規定されている第２の特徴量学習データを前記記憶媒体に記憶すること、前記記憶媒体から前記第２の特徴量学習データを取得す

ること、および、前記ロータが回転しているとき、前記センサ装置から出力された前記第２の電気信号を受け取り、前記複数の検出値のうちの最新の検出値を含む少なくとも１個の検出値と、前記第２の特徴量学習データに含まれる前記複数の測定値の並びとの間で更にマッチングを行うことにより、前記ロータの現在の機械位置に関係づけられた区分領域を決定すること、を実行する。

[0008] 本開示の装置は、例示的な実施形態において、ロータ、ステータ、および前記ロータの回転に応じて周期的に変化する電気信号を出力するセンサ装置を有するモータに組み合わせて使用されるモータ制御装置であって、コンピュータと、前記コンピュータを動作させるプログラムを格納するメモリと、を備え、前記コンピュータは、前記ロータが回転しているときに前記センサ装置から出力された第１の電気信号の波形特徴を規定する複数の測定値の並びを含む第１の特徴量学習データであって、前記ロータの機械位置を規定する複数の区分領域と前記複数の測定値との関係が規定されている第１の特徴量学習データを記憶する記憶媒体から、前記特徴量学習データを取得すること、前記ロータが回転しているとき、前記センサ装置から出力された第２の電気信号を受け取り、前記第２の電気信号の波形特徴を規定する複数の検出値を、それぞれ、順次、取得すること、前記複数の検出値のうちの最新の検出値を含む少なくとも１個の検出値と、前記第１の特徴量学習データに含まれる前記複数の測定値の並びとの間でマッチングを行うことにより、前記ロータの現在の機械位置に関係づけられた区分領域を決定すること、前記ロータが回転しているときに前記センサ装置から出力された前記第２の電気信号の波形特徴を規定する複数の検出値の並びを含む第２の特徴量学習データであって、前記ロータの機械位置を規定する複数の区分領域と前記複数の検出値との関係が規定されている第２の特徴量学習データを前記記憶媒体に記憶すること、前記記憶媒体から前記第２の特徴量学習データを取得すること、および、前記ロータが回転しているとき、前記センサ装置から出力された前記第２の電気信号を受け取り、前記複数の検出値のうちの最新の検出値を含

む少なくとも１個の検出値と、前記第２の特徴量学習データに含まれる前記複数の測定値の並びとの間で更にマッチングを行うことにより、前記ロータの現在の機械位置に関係づけられた区分領域を決定すること、を実行する。

[0009] 本開示のモータシステムは、例示的な実施形態において、ロータ、ステータ、および前記ロータの回転に応じて周期的に変化する電気信号を出力するセンサ装置を有するモータと、前記モータを駆動するモータ駆動装置と、前記モータ駆動装置に接続された、上述のモータ制御装置と、を備えている。

発明の効果

[0010] 本発明の実施形態によれば、ロータの回転に応じて周期的に変化する電気信号の波形特徴を規定する複数の数値の並びについてマッチングを行うことによってロータの機械角を推定する方法、モータ制御装置、およびモータシステムが提供される。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]図１はモータの回転の中心軸に垂直な断面の構成例を模式的に示す図である。

[図2]図２はホールセンサＨｕ、ＨｖおよびＨｗから取得された電気信号の波形の例を示すグラフである。

[図3]図３はホールＩＣの出力波形の例を示す図である。

[図4]図４はモータ内の３個のホールＩＣの配置例を示す図である。

[図5]図５は各ホールＩＣから出力されたデジタル信号の状態遷移の例を示す図である。

[図6]図６は機械位置０～１１と電気位置Ｅ０～Ｅ５との関係を示す図である。

[図7]図７は測定されたエッジ間隔の例を模式的に示す図である。

[図8]図８は各機械位置［ｉ］について、角度幅Δθ［ｉ］の測定値をバーの高さで表現した模式図である。

[図9]図９は例示的な位置推定方法の処理手順を示すフローチャートである。

[図10A]図１０Ａは特徴量の誤差の平方和が相対的に大きな例を模式的に示す

図である。

[図10B]図１０Ｂは特徴量の誤差の平方和が最小の例を模式的に示す図である。

[図11]図１１は機械角の推定処理を説明するための図である。

[図12]図１２は機械角の推定処理を詳細に説明するための図である。

[図13]図１３は区分領域Ｎ内で周期Δｔごとに回転速度Ｖを算出して機械角を計算する方法を説明するための模式図である。

[図14]図１４は例示的な区分領域決定後の機械角の推定処理の手順を示すフローチャートである。

[図15]図１５は継続的に更新されて変化するリファレンスの例を模式的に示す図である。

[図16]図１６は例示的なリファレンスの更新処理の手順を示すフローチャートである。

[図17A]図１７Ａは時刻ｔまでの、正常なマッチング結果に基づいて決定された区分領域ごとの角度幅の測定値をバーの高さで表現した模式図である。

[図17B]図１７Ｂは時刻ｔ以後に取得された、区分領域ごとの角度幅の測定値を示す模式図である。

[図18]図１８は例示的な異常判定処理の手順を示すフローチャートである。

[図19A]図１９Ａは工場出荷時のリファレンスの一例を示す模式図である。

[図19B]図１９Ｂは更新されたリファレンスの一例を示す模式図である。

[図20]図２０は例示的な経時劣化の判定処理の手順を示すフローチャートである。

[図21]図２１は例示的なモータシステムの構成例を示す図である。

[図22]図２２は本開示による例示的なモータシステムにおけるモータ制御装置のハードウェア構成の例を示す図である。

[図23]図２３は本開示の例示的なモータ制御装置の処理ブロックの構成例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0012] ＜本開示の基本原理＞

本開示の実施形態を説明する前に、ホール素子およびホールＩＣの動作、ならびに、電気角、電気位置、機械角、機械位置の用語を説明する。

[0013] 図１は、複数の磁極Ｎ０、Ｓ０、Ｎ１、Ｓ１を有するロータＲと、ステータＳとを備えるモータＭの概略構成を模式的に示す断面図である。この断面図は、ロータＲの回転の中心軸に垂直である。図１のモータＭは、４極－６スロットの構成を有しており、ステータＳは、６個のティース（不図示）を有している。６個のティースは、それぞれ、Ｕ相、Ｖ相、またはW相の巻線によって励磁される。巻線は、図示されていない駆動装置に接続される。

[0014] この例におけるモータＭは、３個のホール素子Ｈｕ、Ｈｖ、Ｈｗを備えている。ホール素子Ｈｕ、Ｈｖ、Ｈｗは、ロータＲの回転の中心軸の周りを相互に所定の角度だけ回転した異なる位置に配置されている。ホール素子Ｈｕ、Ｈｖ、Ｈｗは、それぞれ、ロータＲの磁極Ｎ０、Ｓ０、Ｎ１、Ｓ１が形成する磁束をセンシングして、アナログの電気信号を出力する。

[0015] 図１では、簡単のため、磁極Ｎ０、Ｓ０、Ｎ１、Ｓ１の配置が模式的に記載されている。実際の磁極Ｎ０、Ｓ０、Ｎ１、Ｓ１は、それぞれ、ロータＲの表面または内部に設けられた永久磁石によって与えられる。磁極Ｎ０、Ｎ１は、それぞれ、ロータＲの表面の異なる位置にＮ極を形成する。一方、磁極Ｓ０、Ｓ１は、それぞれ、ロータＲの表面の異なる位置にＳ極を形成する。磁極Ｎ０、Ｓ０は、第１の磁極対を構成し、磁極Ｎ１、Ｓ１は第２の磁極対を構成している。この例におけるロータＲは、２個の「磁極対」を有している。以下、「磁極対の数」を極対数N_{PP}と呼ぶことがある。

[0016] 一般に、これらの磁極Ｎ０、Ｓ０、Ｎ１、Ｓ１は、ロータＲとステータＳとのギャップに磁束Φｇを形成し、マグネットトルクに寄与する。ギャップの磁束Φｇは、ロータＲの外周表面における周方向位置θｓの関数であり、概略的には正弦波によって近似され得る。この関数を、例えばΦｇ＝ｆ（θｓ）で表すことができる。磁束Φｇの正弦波の１周期は、個々の磁極対に対応している。言い換えると、ロータＲの外周表面に沿って周方向位置θｓが

２πラジアン（３６０°）だけ変化して元の位置にもどる間に、磁束Φｇは「磁極対の数」に等しい周期で正弦波状に振動する。図１の例では、極対数N_{PP}が２であるため、ロータＲの外周表面に沿って周方向位置θｓが２πラジアン（３６０°）だけ変化する間に、磁束Φｇは２周期だけ正弦波状に振動する。ここで、磁束Φｇが１周期だけ正弦波状に変化する角度、すなわち「１個の磁極対」に相当する角度を「電気角の３６０°」と定義する。一方、ロータＲが回転の中心軸の周りに物理的（機械的）に１回転するときの角度を「機械角の３６０°」と定義する。図１の例では、「機械角の３６０°」を電気角に換算すると、「３６０°×極対数N_{PP}」である。

[0017] 図１に示されているロータＲが回転しているとき、ホール素子Ｈｕ、Ｈｖ、Ｈｗは、それぞれ、ロータＲの磁極Ｎ０、Ｓ０、Ｎ１、Ｓ１が形成する磁束の強度（磁束密度）および向きに応答して変化する電圧などの電気信号を出力し得る。例えば、図１のロータＲが時計方向に回転し、ロータＲの磁極Ｎ０の中央がホール素子Ｈｕに対向したとき、ホール素子Ｈｕの出力（例えば電圧）は極大値を示し得る。ロータＲの回転に伴って磁極Ｎ０の中央がホール素子Ｈｕから遠ざかるにつれ、ホール素子Ｈｕの出力は低下する。ロータＲがさらに回転し、ロータＲの磁極Ｓ０の中央がホール素子Ｈｕに対向したとき、ホール素子Ｈｕの出力は極小値を示し得る。ロータＲがさらに回転し、ロータＲの磁極Ｎ１の中央がホール素子Ｈｕに対向したとき、ホール素子Ｈｕの出力は次の極大値を示し得る。こうして、ホール素子Ｈｕの出力は、ロータＲの回転位置に応じて周期的に変化する。

[0018] ホール素子Ｈｖ、Ｈｗも、ホール素子Ｈｕと同様にして、ロータＲの回転位置に応じて周期的に変化する。ホール素子Ｈｖ、Ｈｗは、ホール素子Ｈｕの位置から回転の中心軸に関して所定の角度（電気角で１２０°ずつ）だけ回転した位置にあるため、ホール素子Ｈｕ、Ｈｖ、Ｈｗは、磁極Ｎ０、Ｓ０、Ｎ１、Ｓ１が形成する磁束を相互に異なる位相でセンシングし、電気信号を出力する。なお、ホール素子Ｈｕ、Ｈｖ、Ｈｗの配置間隔は、厳密には、電気角で１２０°ではなく、１２０°から取り付け誤差の分だけ、ランダム

にばらつくことが普通である。

[0019] 図２は、ロータＲが回転中心の周りを一回転するときにホール素子Ｈｕ、Ｈｖ、Ｈｗから出力された電気信号の波形例を示す図である。横軸はロータＲの回転位置、縦軸は電圧である。図２において、ホール素子Ｈｕの出力は一点鎖線、ホール素子Ｈｖの出力は点線、ホール素子Ｈｗの出力は実線で示されている。図２におけるホール素子Ｈｗの出力（実線）に注目すると、ロータＲが回転中心の周りを一回転する間に、異なる２個の回転位置において、大きさの異なる極大値を有する電圧が出力されていることがわかる。同一のホール素子Ｈｗから出力された電圧が異なる極大値を示す原因のひとつは、ロータＲが有する磁極Ｎ０と磁極Ｎ１との間で起磁力が異なることであり得る。

[0020] 図２におけるホール素子Ｈｕ、Ｈｖ、Ｈｗの各出力を比較すると、電圧振幅が必ずしも等しいわけではないことがわかる。ホール素子Ｈｕ、Ｈｖ、Ｈｗは、同じ磁束に応答して異なる感度（ゲイン）で電気信号を出力し得る。このような感度の差異は、ホール素子Ｈｕ、Ｈｖ、Ｈｗの製造ばらつきに起因する個体差と、ホール素子Ｈｕ、Ｈｖ、Ｈｗをモータに固定したときに生じ得る向きおよび／または位置のずれなどに依存し得る。また、感度は温度に依存して変化し得る。このような温度依存性は、ホール素子Ｈｕ、Ｈｖ、Ｈｗによって異なり得る。

[0021] 一般に、永久磁石同期モータなどの同期モータを回転させるとき、ステータの巻線を流れる電流をロータの位相に同期させて制御する必要がある。このような同期は、従来、上記のホール素子Ｈｕ、Ｈｖ、Ｈｗから得られる出力（アナログ信号）、またはホールＩＣから得られる出力（デジタル信号）に基づいて実行されてきた。

[0022] ステータＳの３相（Ｕ、Ｖ、Ｗ相）の巻線に印加する電圧を６ステップで変化させるとき（６ステップ駆動）、その変化は電気角で６０°単位のタイミングで行われる。このタイミングを規定する位相信号は、ロータＲの位相、すなわち電気角に応じて生成される。ベクトル制御のアルゴリズムを用い

て、ステータＳの３相（Ｕ、Ｖ、Ｗ相）の巻線に印加する電圧を正弦波状に制御するときも、位相信号に基づいた「同期」が実行される。同期モータを動作させるには、電気角６０°単位でロータＲの角度位置を検出または推定する必要がある。

[0023] 図３は、ホールＩＣの出力波形の例を示す図である。ホールＩＣは、ロータＲの回転に応じて変化する磁束（具体的には磁束密度）をセンシングし、論理低（Ｌｏｗ）と論理高（Ｈｉｇｈ）との間で遷移するデジタル信号を出力する。以下、簡単のため、論理低（Ｌｏｗ）を「Ｌ」と論理高（Ｈｉｇｈ）を「Ｈ」と表示することがある。一般的なホールＩＣは、前述したホール素子とＩＣ回路とを内蔵している。このようなＩＣ回路は、ホール素子の出力（アナログ信号）が例えば閾値Ｔｈ１を超えたときＬｏｗからＨｉｇｈに遷移し、閾値Ｔｈ２を下回ったときからＨｉｇｈからＬｏｗに遷移するように構成され得る（Ｔｈ１＞Ｔｈ２）。

[0024] 図４は、３個のホールＩＣ（Ｈ１、Ｈ２、Ｈ３）がロータＲの回転の中心軸に関して所定の角度（電気角で１２０°ずつ）だけ回転した位置に配置されたモータＭの構成例を模式的に示している。３個のホールＩＣ（Ｈ１、Ｈ２、Ｈ３）が出力する電気信号（デジタル信号）は、それぞれ、「Ｈ１」、「Ｈ２」、「Ｈ３」で表示されている。信号Ｈ１、Ｈ２、Ｈ３は、相互に異なる位相でＬｏｗとＨｉｇｈとの間を周期的に遷移する。

[0025] 図５は、信号Ｈ１、Ｈ２、Ｈ３の状態遷移の例を示す図である。図５において、横軸は時間またはロータの回転位置である。図５では、電気角で２周期の状態遷移が示されている。信号Ｈ１、Ｈ２、Ｈ３のそれぞれの状態（「Ｌ」または「Ｈ」）の組み合わせは、電気角の１周期（３６０ｄｅｇＥ）のうちに６ステップで変化する。図５の垂直な矢印の列は、３個のホールＩＣから出力されたデジタル信号における立ち上がりエッジおよび立ち下がりエッジのタイミングを示す位相θ_0、θ_1、θ_2、・・・の列である。理想的には、ロータＲが電気角で６０°回転するごとに位相信号が発生する。しかし、現実には、ロータＲの外周表面における起磁力分布の不均一、ホール素子の

固体差および取り付けばらつきなどに起因して、エッジの位相θ_0、θ_1、θ_2、・・・の時間間隔（エッジ間隔）は一定ではない。本明細書では、ｉ番目の位相信号をθ［ｉ］で表わし、エッジ位相θ［ｉ－１］からエッジ位相θ［ｉ］までの時間間隔（エッジ間隔）をΔt［ｉ］で表わすことがある。ロータＲが一定速度で回転しているときに取得されるΔt［０］、Δt［１］、・・・の配列（数値の並び）は、モータごとに異なり、個々のモータに固有の特徴量である。後述するように、本開示によるロータの位置推定処理は、このようなモータの特徴量を利用する。

[0026] 以下の表１は、信号Ｈ１、Ｈ２、Ｈ３のそれぞれの状態（「Ｌ」または「Ｈ」）の組み合わせと、ロータＲの位相との関係の一例を示す表である。ロータＲの位相は、ロータＲの電気角によって規定される。ロータＲの位相（電気角）は、電気角３６０°を均等に区分した６個の領域のいずれかに含まれる。これらの６個の領域を「電気位置」と称する。本明細書では、６個の「電気位置」に、それぞれ、Ｅ０、Ｅ１、Ｅ２、Ｅ３、Ｅ４、Ｅ５の番号を割り当てる。「電気位置」は、電気角で約６０°の幅を有している。

[0027] [表1]

	E0	E1	E2	E3	E4	E5
H1	H	H	H	L	L	L
H2	L	L	H	H	H	L
H3	H	L	L	L	H	H

[0028] 信号Ｈ１、Ｈ２、Ｈ３のそれぞれの状態（「Ｌ」または「Ｈ」）の組み合わせから、現在のロータＲの位相を検出することができる。例えば、信号Ｈ１、Ｈ２、Ｈ３がそれぞれ「Ｈ」、「Ｌ」、「Ｌ」のとき、ロータＲの位相は電気位置Ｅ１にある。ロータＲが回転し、信号Ｈ２が「Ｌ」から「Ｈ」に遷移したとき、すなわち、信号Ｈ１、Ｈ２、Ｈ３がそれぞれ「Ｈ」、「Ｈ」

、「Ｌ」のとき、ロータＲの位相は電気位置Ｅ１から電気位置Ｅ２にシフトしたことがわかる。

[0029] 信号Ｈ１、Ｈ２、Ｈ３のそれぞれの状態（「Ｌ」または「Ｈ」）の組み合わせから、現在のロータＲの電気位置を決定することはできるが、ロータＲの機械角は特定できない。図５に示されるように、信号Ｈ１、Ｈ２、Ｈ３がそれぞれ「Ｈ」、「Ｌ」、「Ｌ」である状態は、ロータＲの回転に伴って電気角３６０°の周期で出現する。ロータＲが機械的に１回転する間に、ロータＲの電気位置は、磁極対の数だけ、同一の値を示す。モータを回転させるだけであれば、ロータＲの電気位置、またはロータＲの位相（電気角）を検出すればよく、ロータの機械角を検出または推定する必要はない。

[0030] 図６は、機械位置０～１１と電気位置Ｅ０～Ｅ５との関係を示す図である。「機械位置」は、信号Ｈ１、Ｈ２、Ｈ３のそれぞれの状態（「Ｌ」または「Ｈ」）の組み合わせと、それらの状態をホールＩＣに生じさせる磁極対とによって決まるロータの物理的な位置である。個々の「機械位置（区分領域）」は、固有の角度幅を有している。角度幅は、図６の波形Ｐにおける立ち上がりエッジと立ち下がりエッジとの間隔(エッジ間隔)によって規定される。磁極対数がＬであるとき、ロータＲが物理的に１回転（機械角３６０°の回転）を行うときのロータＲの角度位置（機械角）は、６×Ｌ＝Ｎ個の区分領域のいずれかに属する。Ｎ個の区分領域には、それぞれ、「０」、「１」、「２」、・・・、「Ｎ－２」、「Ｎ－１」の番号が割り当てられる。図６の例において、Ｎは１２である。この例において、個々の機械位置（区分領域）が有する角度幅は、機械角で約３０°であるが、１２個の機械位置（区分領域）の角度幅の合計値は、正確に３６０°である。なお、個々の機械位置（区分領域）が有する角度幅は、機械角で数値化されていている必要はなく、電気角で数値化されていてもよい。本明細書において、機械位置が有する角度幅を「特徴量」と呼ぶ場合がある。

[0031] 図６に示される例において、同じ電気位置であっても、異なる機械位置では、デジタル信号のエッジ間隔が異なり得る。例えば電気位置Ｅ０の場合、

機械位置０のエッジ間隔（θ［１］－θ［０］）と機械位置６のエッジ間隔（θ［７］－θ［６］）とは異なり得る。

[0032] 次に、図７を参照して、各機械位置のエッジ間隔を測定する方法を説明する。

[0033] 図７は、ロータＲを一定速度で回転させているときに測定されるエッジ間隔の例を模式的に示す図である。図７に示すように、エッジ位相θ_iを検出してから次のエッジ位相θ_{i+1}を検出するまでの時間Δｔ［ｉ］を例えばコンピュータ内のタイマーによって測定する。エッジ位相θ_iとエッジ位相θ_{i+1}とによって規定される区分領域は、機械位置ｉである。機械位置ｉの角度幅Δθ［ｉ］、すなわち、エッジ位相θｉの発生（検知）からエッジ位相θ_{i+1}の発生（検知）までの間にロータＲが回転する機械角は、Δｔ［ｉ］×機械角速度Ｖに等しい。

[0034] ロータＲが等速で、すなわちＶ＝一定値で機械角３６０°の回転を行うとき、以下の等式が成立する。

[数1]

$$\sum \Delta\theta[i] = 360degM$$

[数2]

$$\Delta\theta[i] = \frac{\Delta t[i]}{\sum \Delta t\,[i]} \times 360degM$$

ここで、Σは、ロータＲの機械位置ｉ＝０、１、・・・、Ｎ－１についての総和を意味する。ΣΔｔ［ｉ］は、機械角３６０°の回転（ロータの一回転）に要する時間であり、「ｄｅｇＭ」は機械角の単位である。

[0035] 数２からわかるように、角度幅Δθ［ｉ］は、Δｔ［ｉ］に比例する。ロータＲが等速で１回転する間にΔｔ［ｉ］の測定値を取得すれば、１回転に要する時間に対する割合から角度幅Δθ［ｉ］を求めることができる。こうして、機械位置ｉ＝０、１、・・・、Ｎ－１のそれぞれについて、角度幅Δ

θ［ｉ］の測定値を取得することができる。角度幅Δθ［ｉ］の測定値のそれぞれは、厳密には機械位置ｉごとに異なる値を持ち、角度幅Δθ［ｉ］の測定値の並びはモータＭに固有の情報である。

[0036] 図８は、機械位置ｉ＝０、１、・・・、１１のそれぞれについて、角度幅Δθ［ｉ］の測定値をバーの高さで表現した模式図である。図８に示されるように、角度幅Δθ［ｉ］の測定値は、機械位置ｉによって異なる。角度幅Δθ［ｉ］の測定値の並びは、ロータの回転に応じて周期的に変化する電気信号を出力するセンサ装置から出力された電気信号の波形特徴を規定する。

[0037] 以下の表２は、機械位置ｉ＝０、１、・・・、１１のそれぞれについて、角度幅Δθ［ｉ］の測定値（電気角表示）を記載している。

[0038] [表2]

機械位置 ［ｉ］	電気位置	角度幅 （電気角） Δθ［ｉ］
0	E0	58.5
1	E1	62.6
2	E2	57.7
3	E3	61.2
4	E4	60.6
5	E5	60.7
6	E0	58.1
7	E1	62.2
8	E2	57.3
9	E3	61.6
１０	E4	61.1
１１	E5	58.4

[0039] 表２に示されるような、ロータの機械位置［ｉ］と角度幅Δθ［ｉ］の測定値との関係が規定されている特徴量学習データは、実際にモータを動作させ、ロータを定速で回転させながら取得される。測定値を取得するとき、ロータの回転は１回転に限定されない。ロータが複数回の回転を行う過程で測定された値を平均化することにより、個々の機械位置［ｉ］の角度幅Δθ［ｉ］を決定してもよい。このようにして得たデータは、特徴量学習データ（テーブル）として記憶媒体に保存され得る。

[0040] 本開示の実施形態では、このようなセンサ装置から出力された電気信号の

波形特徴を規定する複数の測定値の並びを含む特徴量学習データをリファレンスとして利用し、ロータの機械位置または機械角を推定する。特徴量学習データは、ロータの複数の機械位置（複数の区分領域）と複数の測定値との関係を規定するデータである。このような特徴量学習データは、例えばモータ出荷前または起動時などに生成され、記憶媒体に記憶され得る。

[0041] また、本開示の実施形態では、ロータの機械位置を推定するとき、センサ装置から出力された電気信号の波形特徴を規定する複数の検出値の並びを取得する。リアルタイムで取得される検出値と特徴量学習データとのマッチングを行うことにより、現在のロータの機械位置の決定、更には機械角の高精度な推定を実現することが可能になる。

[0042] 以下、本開示の実施形態を説明する。

[0043] ＜実施形態＞１．特徴量マッチング

本開示の位置推定方法は、非限定的で例示的な実施形態において、ロータと、ステータとを備えるモータにおけるロータの回転位置を推定する。このモータは、ロータの回転に応じて周期的に変化する電気信号を出力するセンサ装置を備えている。センサ装置の典型例は、モータに発生する磁界を電気信号に変換して出力する非接触の磁気センサであり、例えばホール素子またはホールＩＣである。

[0044] 図９は、本開示の実施形態による位置推定方法の処理手順を示すフローチャートである。この位置推定方法は、コンピュータに実装された方法であって、コンピュータは、少なくとも以下の処理（１）－（３）を実行することにより、ロータが存在する区分領域を決定する。なお、各処理における括弧書きの「ステップ」は図９のステップを表している。

[0045] 処理（１）：コンピュータは、ロータを定速回転させる（ステップＳ１）。コンピュータは、特徴量学習データを記憶する記憶媒体から、特徴量学習データを取得する（ステップＳ２）。特徴量学習データは、ロータが回転しているときにセンサ装置から出力された第１の電気信号の波形特徴を規定する複数の測定値の並びを含む。この特徴量学習データでは、ロータの機械位

置を規定する複数の区分領域と、複数の測定値との関係が規定されている。このような特徴量学習データは、例えばモータを工場から出荷する前などのオフライン動作時に取得され、記録媒体に記憶され得る。ただし、出荷されたモータを動作させているとき、またはモータの停止時に、特徴量学習データを更新してもよい。

[0046] 処理（２）：ロータが回転しているとき、コンピュータは、センサ装置から出力された第２の電気信号を受け取る。そして、第２の電気信号の波形特徴を規定する複数の検出値を、それぞれ、順次、取得する（ステップＳ３）。これらの検出値は、典型的には、モータのユーザが電源再投入によってモータを始動した直後、あるいは、モータの動作中に取得され得る。このため、第２の電気信号の波形特徴を規定する複数の検出値の並びを「オンライン検出値」と呼んでもよい。

[0047] 処理（３）：コンピュータは、複数の検出値のうちの最新の検出値を含む少なくとも１個の検出値と、特徴量学習データに含まれる複数の測定値の並びとの間でマッチングを行う（ステップＳ４）。このマッチングにより、コンピュータは、ロータの現在の機械位置に関係づけられた区分領域を決定する（ステップＳ５）。

[0048] 以下、マッチングの詳細を説明する。具体的には、表２に示されているデータをリファレンスとして用いる例を説明する。

[0049] まず、モータを制御するコンピュータがモータを始動し、ベクトル制御などの公知のモータ制御アルゴリズムにより、ロータを所定の方向に一定速度で回転させる。このようなロータの回転には、ロータの電気位置を取得する必要があるが、ホールＩＣなどのセンサ装置の出力に応じてロータの電気位置は確定する。

[0050] 次に、コンピュータは、通常の動作モードからマッチングモードに移行する。上記の処理（１）、（２）を実行して、センサ装置から出力された第２の電気信号の波形特徴を規定する複数の検出値を、それぞれ、順次、取得する。本実施形態における「複数の検出値」は、特徴量学習データの取得時に

行った測定と同様の測定を行うことによって取得される。センサ装置としてホールＩＣを利用する場合、「複数の検出値」は、ホールＩＣから出力されたデジタル信号における隣接する立ち上がりエッジおよび立ち下がりエッジのエッジ間隔の経過時間を、順次、測定すること、および、ロータが等速で機械的に１回転する間に測定された個々のエッジ間隔の経過時間に基づいて、個々のエッジ間隔の角度幅を決定することによって取得される。個々のエッジ間隔の角度幅を決定するとき、ロータが等速で機械的に２回転以上回転する間に測定された個々のエッジ間隔の経過時間の平均値を用いてもよい。

[0051] こうして取得された過去３個の検出値が、例えば、電気角で６０．６°、５８．２°、６２．１°であったとする。この場合、表２の特徴量学習データを参照することにより、過去３個の検出値に相当する機械位置は、それぞれ、機械位置５、６、７であると決定することができる。その結果、現在のロータは機械位置８にあると推定できる。この例では、過去３個の検出値をマッチングに用いているが、Ｕ個（Ｕは１以上の整数）の検出値を用いてマッチングを行えばよい。Ｕは、好ましくは２以上、典型的には３以上である。なお、Ｕが１の場合とは、１個の検出値によって機械位置が決定されることを意味する。例えば、１個の検出値が得られた後、表２の特徴量学習データを参照してマッチングを行い、最も近い特徴量学習データを探し出す。探し出した特徴量学習データに対応する機械位置が、当該１個の検出値が得られた機械位置であると判定することができる。

[0052] マッチングは、特徴量の誤差（測定値と検出値の差分）の絶対値の和、または誤差の平方和を最小化するように行われ得る。なお、３個のホールＩＣからの出力に基づいて電気位置は確定されるため、マッチングは、磁極対を特定できれば完了し得る。

[0053] 図１０Ａは、特徴量の誤差の平方和が相対的に大きな例を模式的に示す図である。図１０Ｂは、特徴量の誤差の平方和が最小の例を模式的に示す図である。それぞれの図において、破線が測定値の並び（リファレンス）を示し、実線が検出値の並びを示している。特徴量の誤差の平方和が最小になり（

図１０Ｂ）、かつ、当該平方和の値が予め定められた閾値未満になったとき、コンピュータはマッチングが成立したと判定する。本明細書では、マッチングが成立した状態を”Ｍａｔｃｈｅｄ”と表現することがある。”Ｍａｔｃｈｅｄ”であれば、現在のロータの機械位置（区分領域）が決定される。なお、当該平方和の値が予め定められた閾値以上の場合には、コンピュータはエラーを出力する。エラーが出力されると、ロータの機械位置（区分領域）は決定されない。

[0054] 上記の各処理は、汎用的なマイクロコントローラ、モータ用マイクロコントローラ、またはデジタル信号処理装置（ＤＳＰ）などのコンピューティングデバイスによって実行され得る。ホール素子を備えるセンサ装置から出力されたアナログ信号は、例えばＡＤ変換回路によってデジタル信号に変換される。一方、ホールＩＣを備えるセンサ装置から出力されたデジタル信号は、典型的には、そのままコンピューティングデバイスに入力され得る。

[0055] なお、上述の、センサ装置として３個のホールＩＣを用いる態様は一例である。他の例として、ホールＩＣに代えてホール素子を用いてもよいし、センサ装置の数は４個以上であってもよい。センサ装置の数が４個以上の場合、例えば図２、図５および図６の波形は、センサ装置の数に応じた数の波形に変わり、波形の数に応じたＨｉｇｈおよびＬｏｗの組み合わせが得られる。

[0056] また、上述の考え方は、モータの回転方向が正転および逆転のそれぞれに適用し得る。すなわち、表２の機械位置ｉと角度幅Δθ［ｉ］の測定値は、モータの回転方向が正転時および逆転時のそれぞれについて取得され得る。なお、特徴量学習データとして、複数の区分領域のそれぞれの両端におけるロータの機械角または各区分領域の角度幅を、ロータの機械位置および回転方向を変数として与える関数を含み得る。

[0057] 上述した他の例は、以下に説明する各項目にも適用され得る。

[0058] ２．機械角推定

上述した特徴量のマッチング処理によってロータが存在する区分領域が決

定されると、次に、コンピュータは、ロータのより詳細な位置（機械角）を推定する処理を実行する。本明細書において、「機械角」はロータの絶対角と同義である。

[0059] 図１１は、機械角の推定処理を説明するための図である。ロータが一定の回転速度（角速度）Ｖで回転している場合、機械角は、決定された区分領域（図１１の領域番号２）の先頭位置（エッジ位置）における機械角θ_2と、エッジ位置から起算した現在のロータの機械角（$\Delta\theta$）との和（$\theta_2+\Delta\theta$）として得られる。

[0060] エッジ位置から起算した現在のロータの機械角（$\Delta\theta$）は、当該区分領域のエッジ位置からの経過時間Δｔと、ロータの回転速度Ｖとから算出することができる。具体的には、コンピュータは、$\Delta\theta=V\cdot\Delta t$　を計算する。

[0061] コンピュータは、（$\theta_2+V\cdot\Delta t$）を計算することにより、機械角を求めることができる。以下、この計算を行うために必要なＶおよびΔｔの求め方を説明する。

[0062] 図１２は、機械角の推定処理を詳細に説明するための図である。説明を一般化するため、決定された区分領域はＮであり、求めるべき機械角はθ（ｔ）であるとする。

[0063] まず、θ（ｔ）は以下のとおり表される。

（数３）　$\theta(t)=\theta_n+V\cdot\Delta T$

[0064] ここでθ_nは、決定された区分領域Ｎの先頭位置（エッジ位置）における機械角である。θ_nは、表２の関係を用いて下記の通り求めることができる。

（数４）　$\theta_n=\Sigma\Delta\theta[i]$　ただし、ｉ＝０～（ｎ－１）の整数

[0065] 次に、本実施形態では、区分領域Ｎにおけるロータの回転速度Ｖは、近似的に直前の区分領域（Ｎ－１）の回転速度に一致すると考える。直前の区分領域（Ｎ－１）の回転速度Ｖ、すなわち区分領域Ｎにおけるロータの回転速度Ｖ、は下記の通り求めることができる。

（数５）

$$V = \frac{\theta_n - \theta_{n-1}}{t_n - t_{n-1}}$$

[0066] なお数５中のθ$_{n-1}$の求め方は数４に準ずる。ｔ$_n$およびｔ$_{n-1}$はそれぞれ、直前の区分領域（Ｎ－１）の先頭位置および末尾位置の通過時刻のタイマ値である。なお、タイマ値そのものではなく、タイマ値から換算された時刻値を用いることもできる。区分領域（Ｎ－１）の先頭位置および末尾位置は、それぞれ、区分領域（Ｎ－１）を規定する、ホールＩＣから出力されたデジタル信号における隣接する立ち上がりエッジおよび立ち下がりエッジの一方および他方である。

[0067] 求めるべき機械角は、下記のように表される。

（数６） θ（ｔ）＝θ$_n$＋∫Ｖｄｔ （ただし、積分範囲は、時刻ｔ$_n$から（ｔ$_n$＋ΔＴ）まで）

数６の積分範囲ΔＴは、タイマ値またはタイマ値から換算された時刻値である。

[0068] 図１２は、区分領域Ｎ内において回転速度Ｖが一定であると仮定した場合の簡易な機械角の計算方法である。しかしながら、より精度の高い機械角の計算方法を採用することもできる。

[0069] 図１３は、区分領域Ｎ内で周期Δｔごとに回転速度Ｖを算出して機械角を計算する方法を説明するための模式図である。この例でも、区分領域Ｎの先頭のエッジ位置の通過時刻はｔ$_n$であり、機械角はθ$_n$である。周期Δｔは、区分領域Ｎの先頭位置から末尾位置までの時間よりも短い。周期Δｔは、例えばマイコンの動作周期であり、具体例は５０マイクロ秒である。図１３の例では、以下の演算によって機械角θ（ｔ）を求める。

（数７） θ（ｔ）＝θ$_n$＋∫Ｖｄｔ＝θｎ＋Σ｛Ｖ[ｋ]・Δｔ｝ （ただし、Σの加算範囲は、ｋ＝１からΔＴ／Δｔまで）

[0070] ここで、Ｖ[ｋ]は、区分領域Ｎ内のｋ番目の周期におけるロータの回転速度を表している。Ｖ[ｋ]はｋ番目の周期における先頭位置の機械角および末

尾位置の機械角の差を、Δｔで除算して得られる。

[0071] 図１２に示す機械角の推定方法は、直前の区分領域における回転速度が現在の区分領域の回転速度であるとみなして機械角を推定する。一方、図１３に示す機械角の推定方法は、直前の区分領域における回転速度ではなく、現在の区分領域内の、直前の動作周期において求めた回転速度を現在の動作周期における回転速度であるとみなして機械角を推定する。後者の推定方法の方が、より精確にΔｔごとの回転角を求めることができるため、得られる機械角もより精確になる。

[0072] 図１４は、区分領域決定後の機械角の推定処理の手順を示すフローチャートである。ここでは図１２に示す機械角の推定処理を例示する。

[0073] ステップＳ１１において、コンピュータはロータを定速回転させる。ステップＳ１２において、コンピュータは、数４に従い現在の区分領域の先頭位置における機械角θｎを算出する。ステップＳ１３において、コンピュータはホールＩＣから出力されたデジタル信号の立ち上がりエッジまたは立ち下がりエッジの最新の検出からの経過時間ΔＴを取得する。ステップＳ１４において、コンピュータは数５に従い、直前の区分領域通過時のロータの回転速度Ｖを算出する。ステップＳ１５において、コンピュータは数６に従い、機械角の推定値を出力する。

[0074] なお、図１３に示す推定方法を採用する場合には、ステップＳ１５における数６を数７に読み替えれば良い。以上の処理により、コンピュータを用いて精確な機械角を推定することができる。

[0075] なお、例示的な実施形態では、近似的に、区分領域Ｎの回転速度Ｖは直前の区分領域（Ｎ－１）の回転角度に一致するとした。そのため、区分領域（Ｎ－１）の機械角を通過時刻で除算して回転速度Ｖを求めた。しかしながら、直前の区分領域よりもさらに前の区分領域の回転速度を利用して区分領域Ｎの回転速度Ｖを求めてもよい。例えば、直前の複数の区分領域の機械角の合計値を、当該複数の区分領域の通過時刻で除算して、区分領域Ｎの回転速度Ｖを求めてもよい。すなわち、立ち上がりエッジまたは立ち下がりエッジ

の最新の検出結果と、Ｘ個（Ｘは２以上の整数）前の区分領域の最初の立ち上がりエッジまたは立ち下がりエッジの検出結果との間の時間間隔に基づいて、ロータの回転速度を算出してもよい。あるいは、Ｘ個以上前の区分領域の機械角をその区分領域の通過時刻で除算して、近似的に、Ｘ個以上前の区分領域の回転速度が区分領域Ｎの回転速度であると見なして、回転速度を求めてもよい。

[0076] ３．リファレンス更新　次に、リファレンスの更新処理を説明する。

[0077] 図１０Ｂに示すように、マッチングが成立したと判定された場合でも、リファレンス（破線）と検出値（実線）とは完全に一致していない場合がある。その理由の一つは、リファレンスである測定値が取得された時の動作条件と、検出値が取得された時の動作条件との相違である。ここでいう動作条件とは、例えば環境温度である。ホール素子と同様、ホールＩＣの感度も温度に依存して変化し得る。ロータとステータとのギャップも温度に応じて変わり得る。これらは、モータ固有の特徴量を変化させ得る。

[0078] そこで、既存のリファレンスを現在の動作条件で取得した検出値によって更新して以後のマッチング処理に利用する。それにより、マッチングの評価に用いる誤差の平方和をより小さくすることができる。例えば、コンピュータは、マッチングが成立したと判定した場合、検出値の並びを新たなリファレンスとして既存のリファレンスを更新する。より具体的には、コンピュータは、メモリに記憶されている既存のリファレンスを、新たなリファレンスによって上書きする。

[0079] 図１５は、継続的に更新されて変化するリファレンスの例を模式的に示している。本実施形態では、マッチングの成立がリファレンス更新の必要条件であるとしているため、更新前後のリファレンス間に大幅な変動は見られない。しかしながら、一部または全部の測定値が徐々に変化し、現在の動作条件下で取得された検出値に近付いてゆく。その結果、マッチング成否の条件である誤差の平方和をより小さくできる。例えば、リファレンスを更新する度に、コンピュータは誤差の平方和の閾値をより小さくしてもよい。マッチ

ングが成立したと判定する条件をより厳しくすることにより、マッチングの精度をより高めることができる。

[0080] なお、リファレンスの更新処理は、マッチングが成立した場合だけでなく、その後のロータのより詳細な位置（機械角）を推定する処理が終了した後に行われても良い。また、工場出荷時のリファレンスは維持しておき、別途更新可能なリファレンスを用意して更新してもよい。以下、ロータの機械角推定処理の後にリファレンスを更新する処理を説明する。

[0081] 図１６は、リファレンスの更新処理の手順を示すフローチャートである。

[0082] ステップＳ２１において、コンピュータは、マッチングが成立したと判定した時の検出値の並びをバッファに保持する。バッファは、一般的なコンピュータ（ＣＰＵ）が内部に有する記憶素子である。

[0083] ステップＳ２２において、コンピュータは、記憶媒体に更新可能リファレンスが既に存在しているか否かを判定する。「更新可能リファレンス」とは、工場出荷時のリファレンスとは異なり、更新（上書き）することが可能なリファレンスを意味する。なお、本実施形態では、工場出荷時のリファレンスには上書きがされないよう上書き不可属性が付与されている。または、工場出荷時のリファレンスは書き換え不可能な記憶媒体（例えばＲＯＭ）に記憶されていても良い。

[0084] 記憶媒体に更新可能リファレンスが既に存在していない場合には、処理はステップＳ２３に進む。記憶媒体に更新可能リファレンスが既に存在している場合には、処理はステップＳ２４に進む。

[0085] ステップＳ２３において、コンピュータは、バッファに保持された検出値の並びで、更新可能リファレンスを新たに作成し、記憶媒体に保存する。その後、コンピュータは処理を終了する。

[0086] ステップＳ２４において、コンピュータは、バッファに保持された検出値の並びで更新可能リファレンスを上書きする。その後、コンピュータは処理を終了する。

[0087] 以上の処理により、工場出荷時のリファレンスを維持しつつ、マッチング

処理に利用するリファレンスを更新することができる。

[0088] ４．異常検知

次に、本項目および次の項目においてマッチング処理の応用例を説明する。

[0089] 本項目では、マッチングの成否判断の際、モータが故障している等の異常状態にあることを判定する異常判定処理を説明する。

[0090] ある時刻ｔまではマッチングが成立してモータの機械位置の推定が正しく行われていたが、時刻ｔ以降は、ある機械位置で検出値が突然大きくなったとする。そのような状況では、マッチング成否の判定処理に時間を要すると考えられる。そこでマッチングが予め定められた所定時間以内に完了しないとき、当該機械位置において何らかの異常が発生したと推測することができる。

[0091] 図１７Ａは、時刻ｔまでの、正常なマッチング結果に基づいて決定された区分領域ごとの角度幅の測定値をバーの高さで表現した模式図である。いま、時刻ｔで取得された区分領域２および３の角度幅の組Ｃ１に注目する。

[0092] 図１７Ｂは、時刻ｔ以後に取得された、区分領域ごとの角度幅の測定値を示す模式図である。区分領域２および３の角度幅の組Ｃ２は、時刻ｔで取得された区分領域２および３の角度幅の組Ｃ１と大きく乖離している。組Ｃ２の方が、区分領域２の角度幅がより大きくなり、区分領域３の角度幅がより小さくなっていることが理解される。そこで、例えば、全ての角度幅の差分の絶対値または平方の和について予め閾値を設けておき、当該閾値を超えた場合には、コンピュータはモータが異常状態にあると判定する。判定結果に従って、コンピュータはロータを停止させるための制御に切り替える。各区分領域の角度幅の基準値として、直前の処理で取得された、または、一定の時間範囲以内に取得された角度幅を採用してもよいし、予め用意された各区分領域の角度幅を示す固定値を採用してもよい。

[0093] なお、角度幅の差分の絶対値または平方の和が閾値を上回った場合でも、マッチングが成立することはあり得る。そのため、コンピュータは、マッチ

ングの成否にかかわらず上述の異常判定を行ってもよい。

[0094] 図１８は異常判定処理の手順を示すフローチャートである。

[0095] ステップＳ３１において、コンピュータは、現在の角度幅の推定値を取得する。

[0096] ステップＳ３２において、コンピュータは、マッチングが所定時間以内に完了したか否かを判定する。完了した場合には処理はステップＳ３３に進み、完了しなかった場合には処理はステップＳ３４に進む。

[0097] ステップＳ３３において、コンピュータは、各区分領域の角度幅と、予め用意された基準角度幅との差分の絶対値または平方の和が閾値以内か否かを判定する。閾値以内であれば、異常がないと判定されるため、処理は終了する。一方、閾値を超えている場合には、異常ありと判定され、処理はステップＳＳ３４に進む。

[0098] ステップＳ３４では、コンピュータはモータの異常が発生したと判定する。このとき、コンピュータは、差分の絶対値または平方が所定値を超えて大きくなった機械位置を特定することができ、当該機械位置においてモータに異常が発生していると判定する。そして、コンピュータは、異常が発生した機械位置を示す信号を出力する。当該信号に応答して、例えば、不図示のブザーを鳴動させ、および／または、不図示の表示装置に異常が発生した機械位置を示す警告を表示させる。これにより、ユーザに異常が発生した機械位置を報知できる。または、コンピュータは現在実行中のモータのロータを回転させる処理を、ロータの回転を停止させる処理に切り替えてもよい。例えば、コンピュータはモータに供給される電流を遮断することにより、ロータの回転を停止させる。

[0099] なお、モータに異常があると判定した場合には、コンピュータは、モータまたはホールＩＣ（センサ装置）のいずれかが異常状態にあることを示す信号を出力してもよい。当該信号に応答して、例えば、不図示のブザーを鳴動させ、および／または、不図示の表示装置に故障であることを示す警告を表示させる。これにより、ユーザに故障を報知することができる。また、モー

タに異常があると判定した場合に、コンピュータは、モータまたはホールＩＣ（センサ装置）のいずれかが異常状態にあることを示す信号を記憶媒体に記録してもよい。例えば、ユーザは、モータのメンテナンスの際に、記憶媒体に記録された信号に応じて、故障箇所を修理する等の処置をすることができる。

[0100] コンピュータは、さらに他の応用的な処理を行うこともできる。例えば、マッチングに当たって取得した検出値がそのモータ固有の特徴量を示すことを利用して、モータの個体認識を行うことができる。通常であれば０．１秒以内にマッチングが完了していたとする。しかしながら、１秒間継続してマッチング処理を行ったもののマッチングが成立しない場合には、マッチングができないほどリファレンスと検出値とが大きく異なっている、つまりはリファレンスを取得したモータとは異なるモータ、または適合しないモータ、が実装されたという異常状態を判定し得る。そこで、コンピュータはモータを駆動しない、という処理に切り替えることができる。これにより、特定のモータについてのみ制御を許可することができる。また、リファレンスにモータが適合しないことを示す信号を出力してもよい。これにより、異なるモータを検知したことをユーザに報知することができる。

[0101] なお、仮に本明細書に記載の処理を行うモータシステムを提供する業者が、上述の適合しないモータについての使用許諾を与えた場合、当該業者は、適合しないモータの固有のリファレンスを、例えば通信回線を介して、またはリムーバブル記憶媒体を介してコンピュータにインストールする。これにより、これまで適合しないと判定されていたモータについてマッチングが成立し、モータを制御することが可能になる。

[0102] ５．経過時劣化判定

本項目では、工場出荷時のリファレンスと、更新されたリファレンスとを利用して、モータの経時劣化の有無を判定する処理を説明する。

[0103] 上述の項目３で説明したように、更新されたリファレンスは、もともと、工場出荷時のリファレンスとの間に差異が存在することを前提としている。

相違は、動作条件が異なることに起因すると考えられるが、実際には、経時劣化に起因することもあり得る。経時劣化の場合、相違はリファレンスの一部または全部について徐々に大きくなり得る。そこで、更新されたリファレンスと工場出荷時のリファレンスとを利用して、経時劣化が進んだか否かを判定することができる。

[0104] 図１９Ａは、工場出荷時のリファレンスの一例を示す模式図である。一方、図１９Ｂは、更新されたリファレンスの一例を示す模式図である。例えば、区分領域８の角度幅については、工場出荷時のリファレンスと更新されたリファレンスとで実質的に一致している。一方、区分領域２および３の角度幅の組については、工場出荷時のリファレンスの組Ｃ３と、更新されたリファレンスの組Ｃ５とは相違している。これらの相違は、両リファレンスの角度幅の差分の絶対値または平方和を利用して評価することができる。例えば両リファレンスの角度幅の差分の絶対値または平方和が閾値以上であれば、経時劣化が発生したと判定することができる。経時劣化は、例えば、ロータの偏心、ロータに用いられている磁石の減磁、ホールＩＣの感度の低下に起因して発生し得る。よって、モータおよびホールＩＣ（センサ装置）の少なくとも一方の経時劣化の有無を判定できる。なお、経時劣化の有無の判定を、「劣化状態の判定」と呼ぶことがある。

[0105] 以下、経時劣化の判定処理の内容を説明する。以下では、上述の項目３の例と同様、現在のリファレンスと工場出荷時のリファレンスとが記憶媒体内に併存しているとする。

[0106] 図２０は、経時劣化の判定処理の手順を示すフローチャートである。このフローチャートによる処理は、例えばモータ起動時、またはモータの起動以後所定の時間が経過した定期的なタイミングで実行され得る。

[0107] ステップＳ４１において、コンピュータは、記憶媒体から、現在のリファレンスと工場出荷時のリファレンスとを取得する。

[0108] ステップＳ４２において、コンピュータは、両リファレンスの各区分領域の角度幅の差分の絶対値または平方和が予め定められた閾値以内か否かを判

定する。閾値以内であれば、経時劣化はないと判定されるため、処理は終了する。一方、閾値を超えている場合には、経時劣化ありと判定され、処理はステップＳ４３に進む。

[0109] ステップＳ４３において、コンピュータはモータが経時劣化したと判定する。そして、コンピュータは、モータまたはホールＩＣ（センサ装置）の少なくとも一方が経時劣化していることを示す信号を出力する。当該信号により、ユーザに経時劣化の発生を報知することができる。例えば、当該信号に応答して、不図示のブザーを鳴動させ、および／または、不図示の表示装置に劣化があることを示す警告を表示させる。これにより、ユーザに経時劣化を報知することができる。以上、本開示にかかる例示的な実施形態を説明した。

[0110] 上述の通り、マッチング処理および機械位置の推定処理により、ロータの精確な位置を推定できるだけでなく、モータの異常および経時劣化を判定することが可能である。

[0111] ６．モータシステムの構成例

以下、本開示の実施形態におけるモータシステム１０００の構成例を説明する。

[0112] まず、図２１を参照する。図２１は、本開示の実施形態におけるモータシステム１０００の構成例を示す図である。図２１に例示されているモータシステム１０００は、ホールＩＣ（Ｈ１、Ｈ２、Ｈ３）を有するセンサ装置２０が取り付けられたモータＭを備えている。モータＭは、複数の磁極を有するロータＲと、複数の巻線を有するステータＳとを備えている。本開示におけるモータＭの典型例は、ブラシレスＤＣモータなどの永久磁石同期モータであるが、この例に限定されない。

[0113] モータシステム１０００は、モータＭを駆動するモータ駆動装置３０と、モータ駆動装置３０に接続されているモータ制御装置４０とを備えている。なお、図２１には、ブロック間に双方向の白抜き矢印が記載されている。この矢印は、信号およびデータなどの情報が常に２方向に移動し得ることを意

味していない。例えば、モータ駆動装置３０とモータ制御装置４０との間では、モータ制御装置４０からモータ駆動装置３０に向かって１方向に信号が送られてもよい。

[0114] モータシステム１０００は、外部装置７０に接続されている。モータ制御装置４０は、外部装置７０から位置指令値および速度指令値などの指令値を受け取り、例えば公知のベクトル制御のアルゴリズムに従った制御処理を実行する。モータ制御装置４０は、電圧指令値を出力する。モータ駆動装置３０は、モータ制御装置４０から出力された電圧指令値に基づいて、モータＭの回転動作に必要な電圧をモータＭにおけるステータＳの巻線に印加する。モータ駆動装置３０は、例えばインバータ回路およびプリドライバを備えている。インバータ回路は、複数のパワートランジスタを有するブリッジ回路であり得る。モータ駆動装置３０は、電圧指令値として、典型的にはパルス幅変調（ＰＷＭ）信号をモータ制御装置４０から受け取り、擬似的な正弦波電圧をモータＭに与える。

[0115] モータ制御装置４０は、ロータＲの位置を推定する位置推定装置６０を備えている。位置推定装置６０は、センサ信号処理回路６２と、特徴量抽出回路６４と、特徴量学習データ（リファレンス）が記憶されているメモリ６８と、マッチング回路６６とを備えている。これらの回路は、位置推定装置６０の機能ブロックに相当している。後述するように、各機能ブロックは、コンピュータによって実現され得る。

[0116] センサ信号処理回路６２は、センサ装置２０からセンサ出力を受け取り、エッジ位相θ［ｉ］または図６の波形Ｐを示す信号を生成する。センサ信号処理回路６２は、センサ出力から電気位置を特定するロジック回路を有していてもよい。

[0117] 特徴量抽出回路６４は、図７を参照しながら説明した方法により、Δθ［ｉ］を順次取得する。ただし、この時点では、現在の電気位置が特定されていたとしても、機械位置ｉは不特定である。

[0118] 位置推定装置６０は、メモリ６８から特徴量学習データを読み出し、Δθ

［ｉ］とのマッチングを行う。マッチングの結果、機械位置ｉを特定することができる。

[0119] こうして、前述した位置推定方法を実行することにより、ホールＩＣからの出力を用いてロータＲの機械位置を求めることができる。また、後述する方法および装置によれば、ロータＲの機械角を高い分解能で推定することができる。ロータＲの位置推定値を示す信号は、位置推定装置６０からモータ制御装置４０に入力される。

[0120] 図２２は、本開示によるモータシステムにおけるモータ制御装置４０のハードウェア構成の例を示す図である。

[0121] モータ制御装置４０は、例えば図２２に示されるハードウェア構成を有していても良い。この例におけるモータ制御装置４０は、互いにバス接続されたＣＰＵ５４、ＰＷＭ回路５５、ＲＯＭ（リードオンリーメモリ）５６、ＲＡＭ（ランダムアクセスメモリ）５７、およびＩ／Ｆ（入出力インタフェース）５８を有している。図示されていない他の回路またはデバイス（ＡＤ変換器など）がバスに接続されていてもよい。ＰＷＭ回路５５は、図２１のモータ駆動装置３０にＰＷＭ信号を与える。ＣＰＵ５４の動作を規定するプログラムおよびデータは、ＲＯＭ５６およびＲＡＭ５７の少なくとも一方に記憶されている。このようなモータ制御装置４０は、例えば３２ビットの汎用的なマイクロコントローラによって実現され得る。そのようなマイクロコントローラは、例えば１個または複数の集積回路チップから構成され得る。マイクロコントローラは、上述の「コンピュータ」の一例である。

[0122] モータ制御装置４０が行う各種の動作は、メモリ(記憶媒体)に格納されているプログラムによって規定されている。プログラムおよびデータの内容の一部または全部を更新することにより、モータ制御装置４０の動作の一部または全部を変更することが可能である。そのようなプログラムの更新は、プログラムを格納した記録媒体を用いて行ってもよいし、有線または無線の通信によって行っても良い。通信は、図２２のＩ／Ｆ５８を用いて行うことができる。図２２に示されるＣＰＵ５４の演算量を低減するために、モータ制

御装置４０が行う各種の動作の一部、例えばベクトル演算の一部が、その演算専用のハードウェア回路によって実行されてもよい。

[0123] 次に、図２３を参照して、本開示の実施形態におけるモータ制御装置の限定的ではない例示的な構成および動作の例を説明する。図示されている例において、本実施形態のモータシステム１０００におけるモータ制御装置４０は、電流指令値生成回路１０と、電流制御回路１２と、第１座標変換回路１４Ａと、ＰＷＭ回路１６とを備えている。電流指令値生成回路１０は、位置指令値および速度指令値からｄ軸電流指令値ｉｄ＊およびｑ軸電流指令値ｉｑ＊を生成する。電流制御回路１２は、ｄ軸電流指令値ｉｄ＊およびｑ軸電流指令値ｉｑ＊からｄ軸電圧指令値Ｖｄ＊およびｑ軸電圧指令値Ｖｑ＊を決定する。第１座標変換回路１４Ａは、電圧指令値をｄｑ座標系からＵＶＷ座標系に変換する。ＰＷＭ回路１６は、第１座標変換回路１４Ａから出力される電圧指令値（Ｖｕ＊、Ｖｖ＊、Ｖｗ＊）に基づいてパルス幅変調信号を生成する。これらの回路１０、１２、１４Ａ、１６の構成および動作は、公知の例に従う。

[0124] モータ制御装置４０は、更に、第２座標変換回路１４Ｂと、位置推定装置１８Ａと、速度演算回路１８Ｂとを備えている。第２座標変換回路１４Ｂは、インバータ２００からモータＭに供給される３相Ｕ、Ｖ、Ｗの巻線電流の検出値ｉｕ、ｉｖについて、ＵＶＷ座標系からｄｑ座標系に変換する。位置推定装置１８Ａは、前述した方法により、モータＭに取り付けられたセンサ装置（不図示）からの出力に基づいて、モータＭにおけるロータの機械角θｍを推定する。速度演算回路１８Ｂは、ロータの機械角θｍからロータの機械角速度ωｍを算出する。

[0125] 第２座標変換回路１４Ｂから、ｄｑ座標系に変換されたｄ軸電流ｉｄ、ｑ軸電流ｉｑは、電流制御回路１２に与えられ、それぞれ、ｄ軸電流指令値ｉｄ＊およびｑ軸電流指令値ｉｑ＊と比較される。電流制御回路１２の典型例は、比例積分（ＰＩ）制御器である。ロータの機械角θｍからはロータの電気角θが算出される。ロータの電気角θは、ｄｑ座標系とＵＶＷ座標系との

間の座標変換に利用される。ロータの機械角速度ωｍは、トルク指令値Ｔの決定に利用され得る。

[0126] モータ駆動回路２００のインバータの前段には、ＰＷＭ信号に基づいてインバータ内のトランジスタをスイッチングするゲート駆動信号を生成するゲートドライバが設けられ得る。これらの要素は公知であり、簡単のため、記載が省略されている。

[0127] 上記の各回路の一部または全部は、集積回路装置によって実現され得る。このような集積回路装置は、典型的には１個または複数個の半導体部品によって形成され得る。集積回路装置は、位置センサからのアナログ信号をデジタル信号に変換するＡ／Ｄコンバータと、モータＭの巻線を流れる電流を検出するセンサ（不図示）からのアナログ信号をデジタル信号に変換するＡ／Ｄコンバータとを含み得る。

[0128] インバータの少なくとも一部が集積回路装置に含まれていても良い。このような集積回路装置は、典型的には、１個また複数個の半導体チップを１個のパッケージ内で相互に接続することによって実現される。集積回路装置の一部または全部は、例えば汎用的なマイクロコントローラユニット（ＭＣＵ）に本開示に特有のプログラムを書き込むことによって実現され得る。

産業上の利用可能性

[0129] 本開示の位置推定方法、モータ制御装置、およびモータシステムは、ロータリ・エンコーダまたはレゾルバなどの位置センサを用いることなく、ロータの位置を高分解で推定することができるため、精度の高い位置制御が必要な用途に広く利用され得る。

符号の説明

[0130] ２０・・・センサ装置、３０・・・モータ駆動装置、４０・・・　、６０・・・モータ制御装置、６２・・・センサ信号処理回路、６４・・・特徴量抽出回路　、６６・・・マッチング回路、　６８・・・メモリ、１０００・・・モータシステム、Ｈｕ、Ｈｖ、Ｈｗ・・・ホール素子、Ｒ・・・ロータ、Ｓ・・・ステータ、Ｍ・・・モータ、Ｈ１、Ｈ２、Ｈ３・・・ホールＩＣ

請求の範囲

[請求項1] ロータ、ステータ、および前記ロータの回転に応じて周期的に変化する電気信号を出力するセンサ装置を有するモータにおける前記ロータの位置を推定する、コンピュータに実装された方法であって、コンピュータは、

前記ロータが回転しているときに前記センサ装置から出力された第１の電気信号の波形特徴を規定する複数の測定値の並びを含む第１の特徴量学習データであって、前記ロータの機械位置を規定する複数の区分領域と前記複数の測定値との関係が規定されている第１の特徴量学習データを記憶する記憶媒体から、前記特徴量学習データを取得すること、

前記ロータが回転しているとき、前記センサ装置から出力された第２の電気信号を受け取り、前記第２の電気信号の波形特徴を規定する複数の検出値を、それぞれ、順次、取得すること、

前記複数の検出値のうちの最新の検出値を含む少なくとも１個の検出値と、前記第１の特徴量学習データに含まれる前記複数の測定値の並びとの間でマッチングを行うことにより、前記ロータの現在の機械位置に関係づけられた区分領域を決定すること、

前記ロータが回転しているときに前記センサ装置から出力された前記第２の電気信号の波形特徴を規定する複数の検出値の並びを含む第２の特徴量学習データであって、前記ロータの機械位置を規定する複数の区分領域と前記複数の検出値との関係が規定されている第２の特徴量学習データを前記記憶媒体に記憶すること、

前記記憶媒体から前記第２の特徴量学習データを取得すること、および、

前記ロータが回転しているとき、前記センサ装置から出力された前記第２の電気信号を受け取り、前記複数の検出値のうちの最新の検出値を含む少なくとも１個の検出値と、前記第２の特徴量学習データに

含まれる前記複数の測定値の並びとの間で更にマッチングを行うことにより、前記ロータの現在の機械位置に関係づけられた区分領域を決定すること、を実行する、方法。

[請求項2] 前記コンピュータは、前記マッチングが行われるごとに、前記マッチング後において前記ロータが回転しているときに前記センサ装置から出力された前記第２の電気信号の波形特徴を規定する複数の検出値の並びに基づいて、前記第２の特徴量学習データを更新する、請求項１に記載の方法。

[請求項3] 前記センサ装置は、３個以上の複数のホールＩＣを含み、

各ホールＩＣは、前記ロータの回転に応じて変化する磁束をセンシングして論理低と論理高との間で遷移するデジタル信号を前記第１の電気信号および第２の電気信号として出力し、

前記複数の測定値のそれぞれ、および前記複数の検出値のそれぞれは、前記各ホールＩＣから出力された前記デジタル信号における隣接する立ち上がりエッジおよび立ち下がりエッジのエッジ間隔によって規定される、請求項１に記載の方法。

[請求項4] 前記ロータは、複数の磁極を有しており、 前記各ホールＩＣは、前記複数の磁極が形成する磁束をセンシングする、請求項３に記載の方法。

[請求項5] 前記コンピュータは、

前記ロータを等速で回転させながら、前記各ホールＩＣから出力された前記デジタル信号における隣接する立ち上がりエッジおよび立ち下がりエッジのエッジ間隔の経過時間を、順次、測定すること、

前記ロータが等速で機械的に１回転する間に測定された個々のエッジ間隔の前記経過時間に基づいて、個々のエッジ間隔の角度幅を決定すること、

前記エッジ間隔の前記角度幅の並びを、前記複数の測定値の並びとして、前記第２の特徴量学習データを生成し、前記記憶媒体に記憶さ

せること、を実行する、請求項３または４に記載の方法。

[請求項6] 前記コンピュータは、個々のエッジ間隔の前記角度幅を決定するとき、前記ロータが等速で、機械的に２回転以上、回転する間に測定された個々のエッジ間隔の経過時間の平均値を用いる、請求項５に記載の方法。

[請求項7] 前記コンピュータは、

前記第２の電気信号の波形特徴を規定する前記複数の検出値を、それぞれ、順次、取得するとき、

前記各ホールＩＣから出力された前記デジタル信号における隣接する立ち上がりエッジおよび立ち下がりエッジのエッジ間隔の経過時間を、順次、測定すること、を実行する、請求項５または６に記載の方法。

[請求項8] 前記コンピュータは、前記ロータの現在の機械位置に関係づけられた区分領域を決定するとき、

前記各ホールＩＣから出力された前記デジタル信号に基づいて、前記ロータの電気位置を決定すること、を実行する、請求項３から７のいずれかに記載の方法。

[請求項9] 前記複数のホールＩＣは、３個のホールＩＣである、請求項１から８のいずれかに記載の方法。

[請求項10] ロータ、ステータ、および前記ロータの回転に応じて周期的に変化する電気信号を出力するセンサ装置を有するモータに組み合わせて使用されるモータ制御装置であって、コンピュータと、前記コンピュータを動作させるプログラムを格納するメモリと、を備え、

前記コンピュータは、

前記ロータが回転しているときに前記センサ装置から出力された第１の電気信号の波形特徴を規定する複数の測定値の並びを含む第１の特徴量学習データであって、前記ロータの機械位置を規定する複数の区分領域と前記複数の測定値との関係が規定されている第１の特徴量

学習データを記憶する記憶媒体から、前記特徴量学習データを取得すること、

前記ロータが回転しているとき、前記センサ装置から出力された第２の電気信号を受け取り、前記第２の電気信号の波形特徴を規定する複数の検出値を、それぞれ、順次、取得すること、

前記複数の検出値のうちの最新の検出値を含む少なくとも１個の検出値と、前記第１の特徴量学習データに含まれる前記複数の測定値の並びとの間でマッチングを行うことにより、前記ロータの現在の機械位置に関係づけられた区分領域を決定すること、

前記ロータが回転しているときに前記センサ装置から出力された前記第２の電気信号の波形特徴を規定する複数の検出値の並びを含む第２の特徴量学習データであって、前記ロータの機械位置を規定する複数の区分領域と前記複数の検出値との関係が規定されている第２の特徴量学習データを前記記憶媒体に記憶すること、

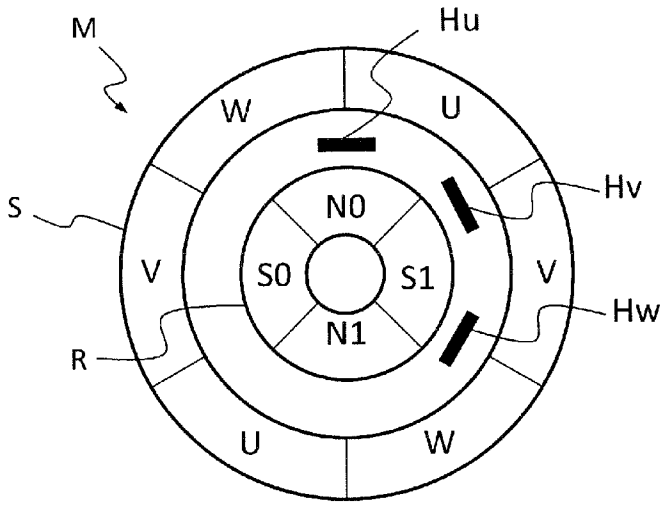
前記記憶媒体から前記第２の特徴量学習データを取得すること、および、

前記ロータが回転しているとき、前記センサ装置から出力された前記第２の電気信号を受け取り、前記複数の検出値のうちの最新の検出値を含む少なくとも１個の検出値と、前記第２の特徴量学習データに含まれる前記複数の測定値の並びとの間で更にマッチングを行うことにより、前記ロータの現在の機械位置に関係づけられた区分領域を決定すること、を実行する、モータ制御装置。

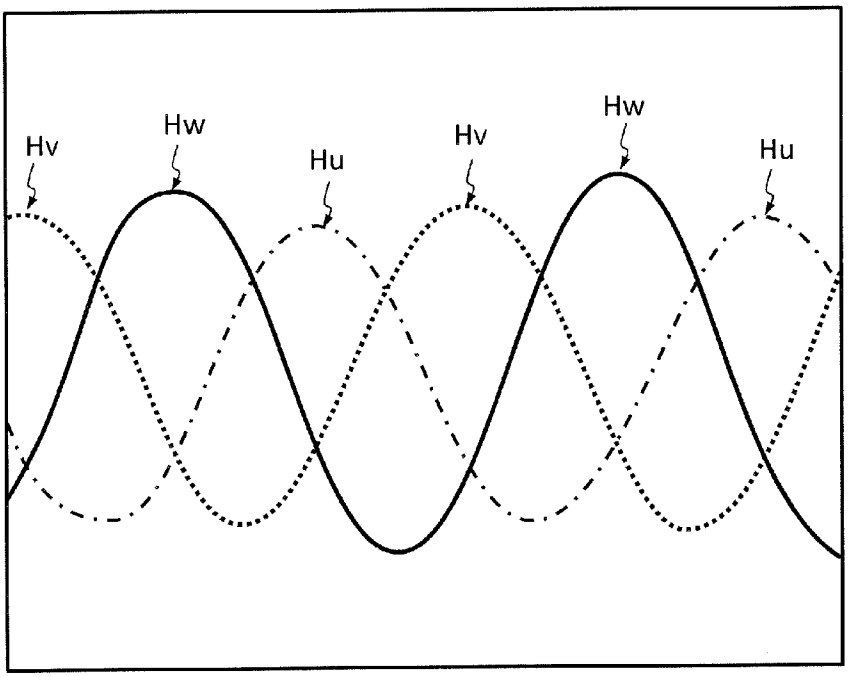
[請求項11] ロータ、ステータ、および前記ロータの回転に応じて周期的に変化する電気信号を出力するセンサ装置を有するモータと、

前記モータを駆動するモータ駆動装置と、　前記モータ駆動装置に接続された、請求項１０に記載のモータ制御装置と、を備える、モータシステム。

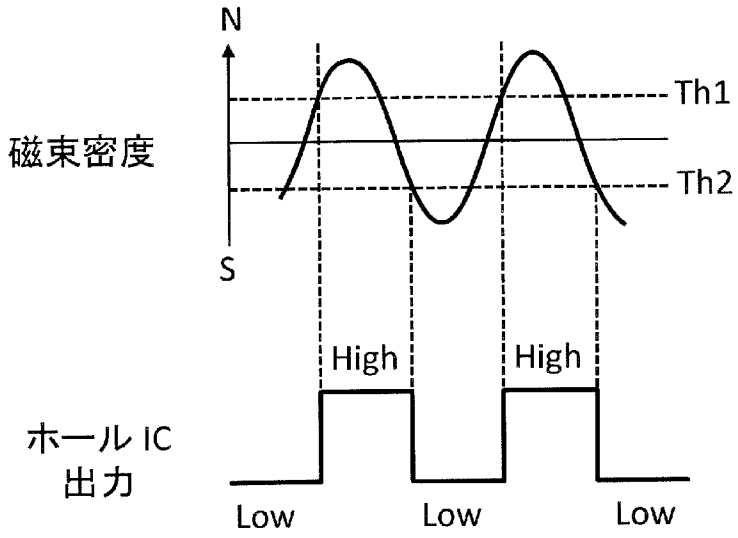
[図1]



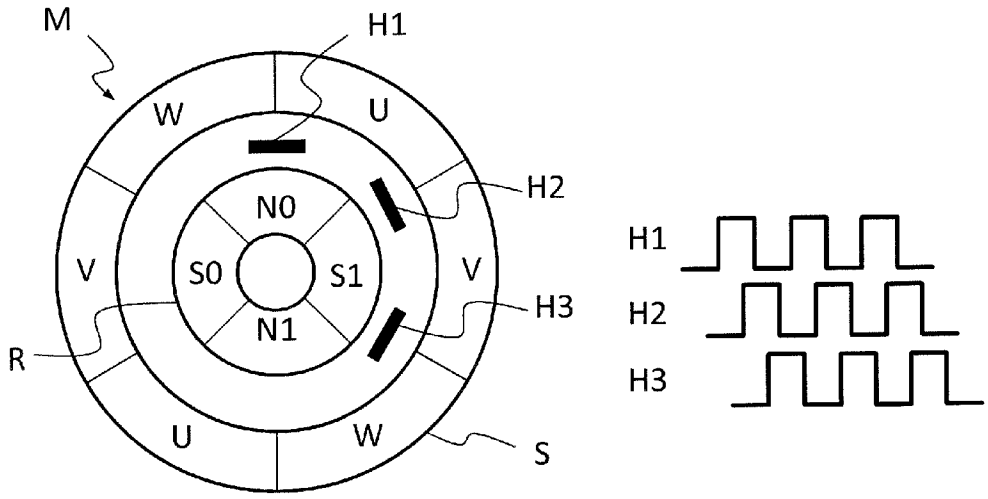
[図2]



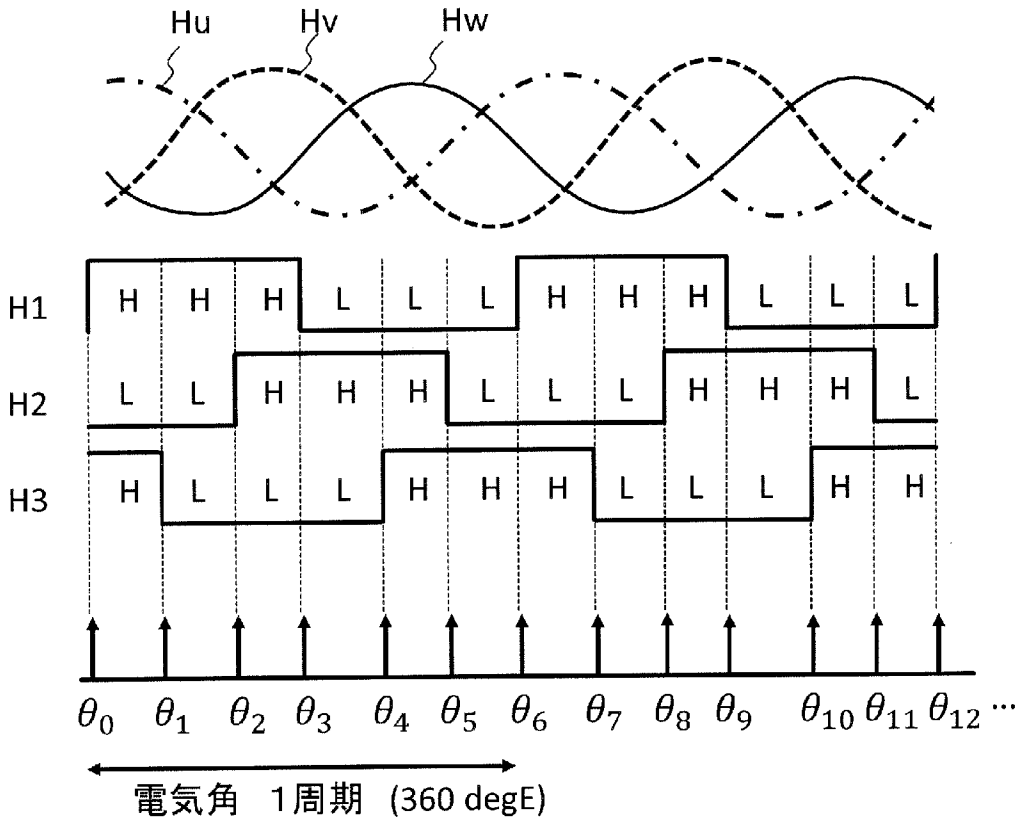
[図3]


N
S
磁束密度
Th1
Th2
High
High
ホール IC
出力
Low
Low
Low

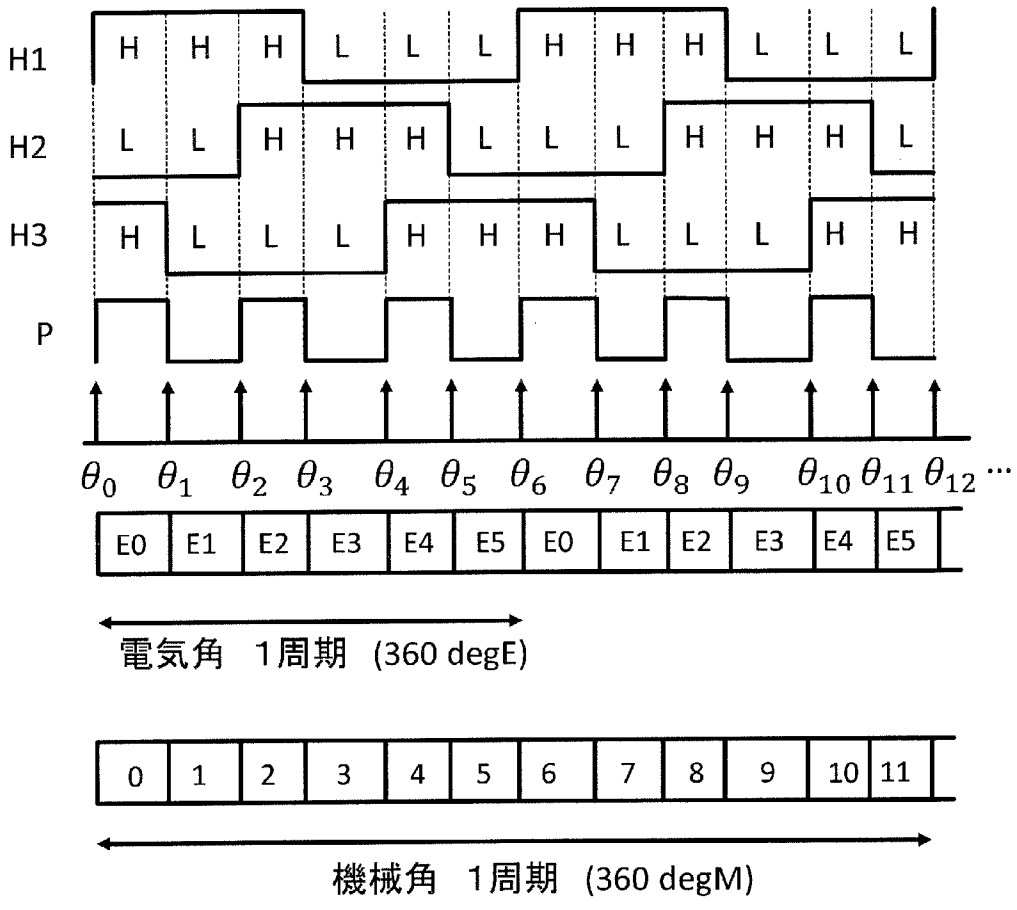
[図4]


M
H1
W
U
H2
N0
V
S0
S1
V
H3
N1
R
U
W
S
H1
H2
H3

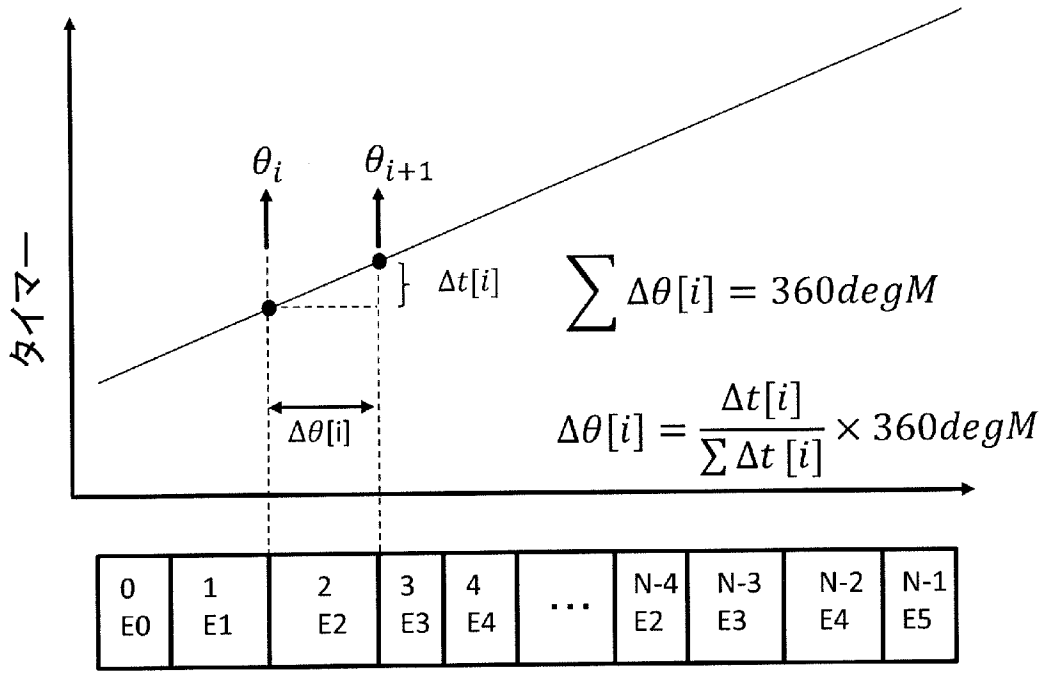
[図5]


Hu
Hv
Hw
H1
H2
H3
H H H L L L H H H L L L
L L H H H L L L H H H L
H L L L H H H L L L H H
θ_0 θ_1 θ_2 θ_3 θ_4 θ_5 θ_6 θ_7 θ_8 θ_9 θ_{10} θ_{11} θ_{12} …
電気角 1周期 (360 degE)

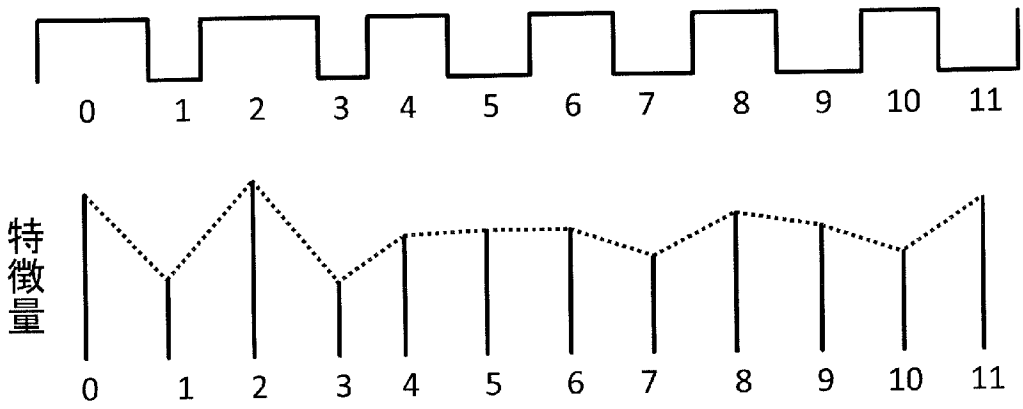
[図6]


H1
H2
H3
P
H H H L L L H H H L L L
L L H H H L L L H H H L
H L L L H H H L L L H H
θ_0 θ_1 θ_2 θ_3 θ_4 θ_5 θ_6 θ_7 θ_8 θ_9 θ_{10} θ_{11} θ_{12} …
E0 E1 E2 E3 E4 E5 E0 E1 E2 E3 E4 E5
電気角 1周期 (360 degE)
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11
機械角 1周期 (360 degM)

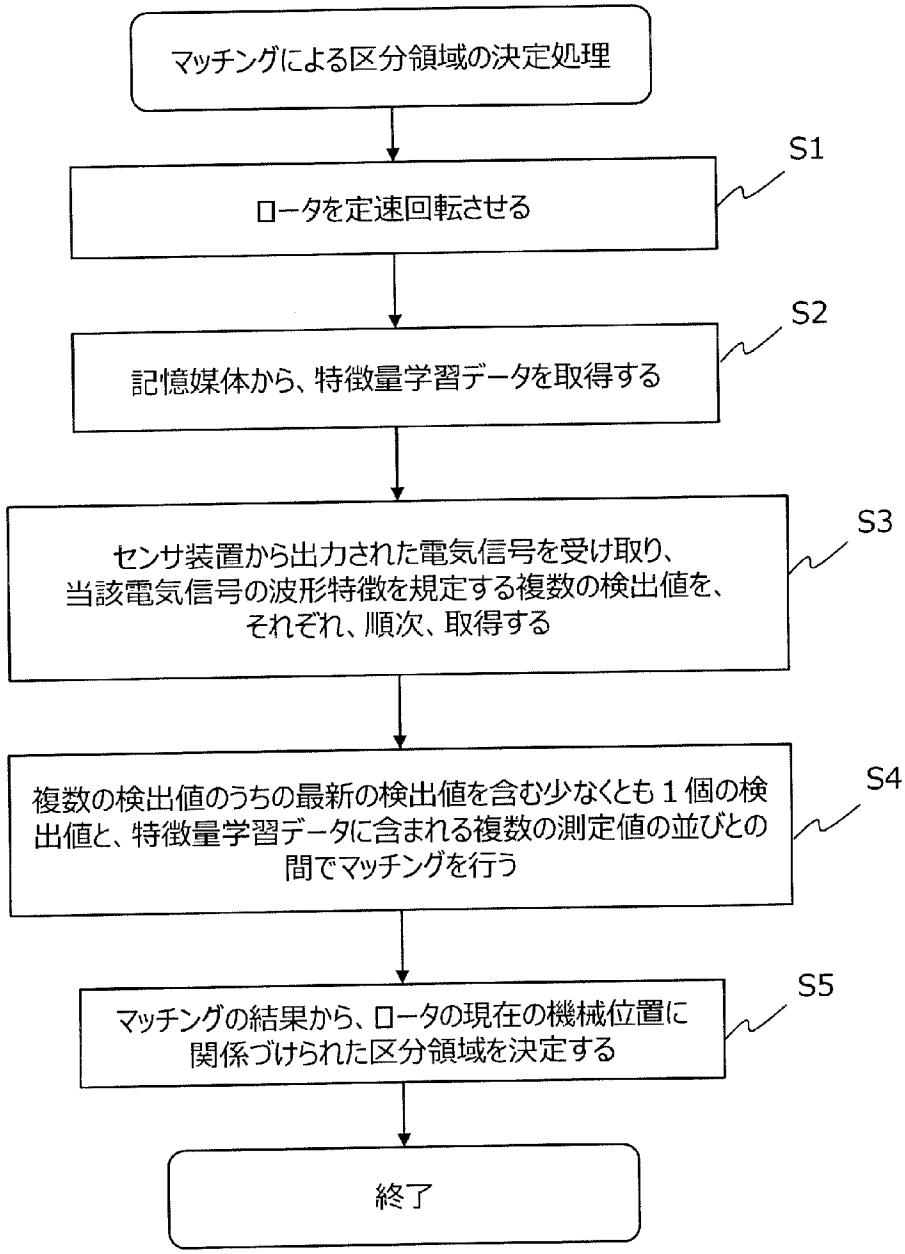
[図7]


タイマー
θ_i
θ_{i+1}
$\Delta t[i]$
$\sum \Delta\theta[i] = 360degM$
$\Delta\theta[i]$
$\Delta\theta[i] = \frac{\Delta t[i]}{\sum \Delta t\,[i]} \times 360degM$
0 E0
1 E1
2 E2
3 E3
4 E4
...
N-4 E2
N-3 E3
N-2 E4
N-1 E5

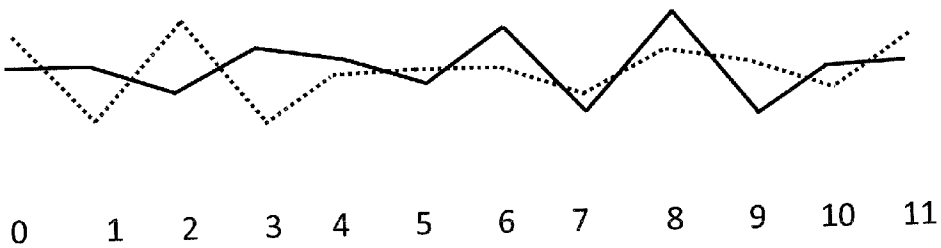
[図8]


0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11
特徴量
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

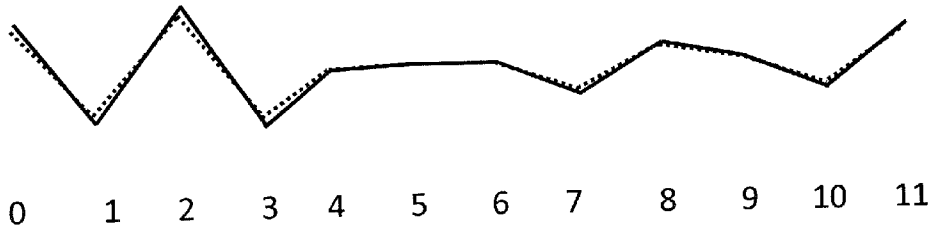
[図9]


マッチングによる区分領域の決定処理
S1
ロータを定速回転させる
S2
記憶媒体から、特徴量学習データを取得する
S3
センサ装置から出力された電気信号を受け取り、
当該電気信号の波形特徴を規定する複数の検出値を、
それぞれ、順次、取得する
S4
複数の検出値のうちの最新の検出値を含む少なくとも１個の検出値と、特徴量学習データに含まれる複数の測定値の並びとの間でマッチングを行う
S5
マッチングの結果から、ロータの現在の機械位置に関係づけられた区分領域を決定する
終了

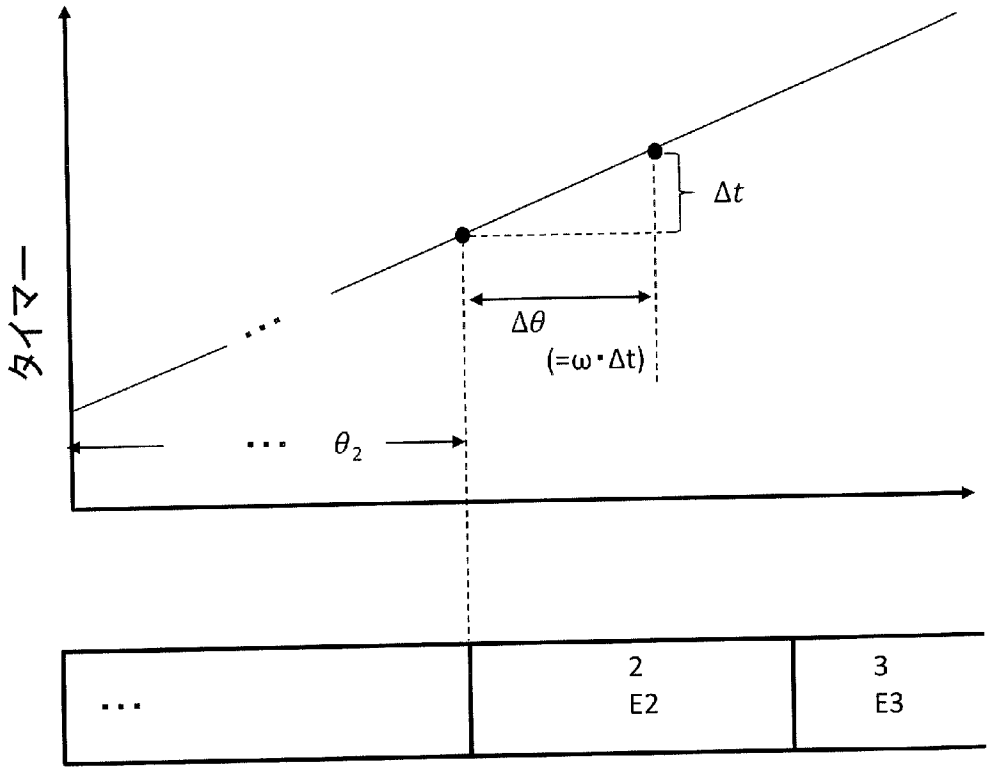
[図10A]


0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

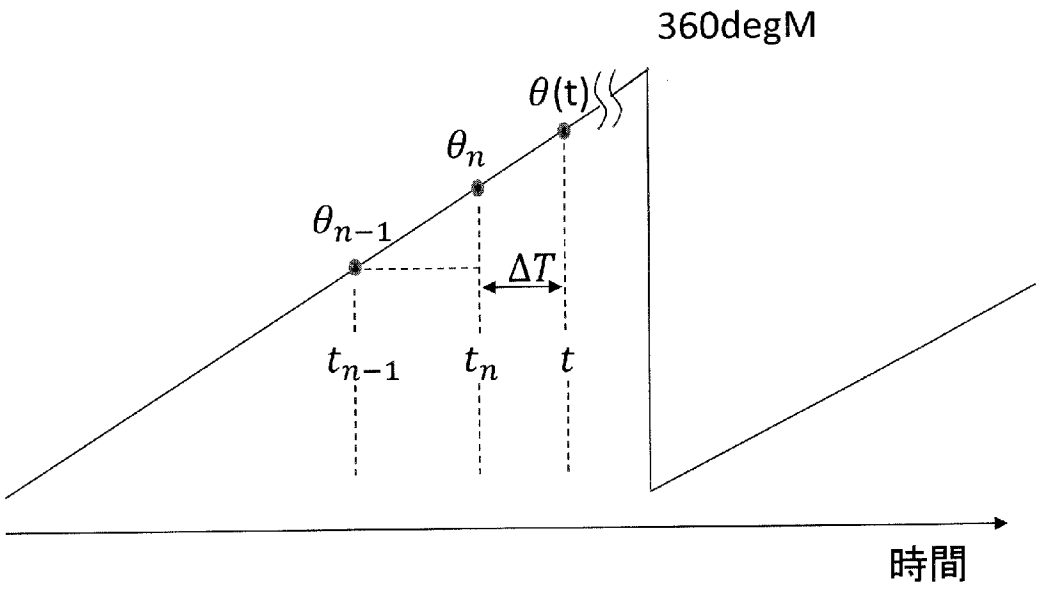
[図10B]



[図11]



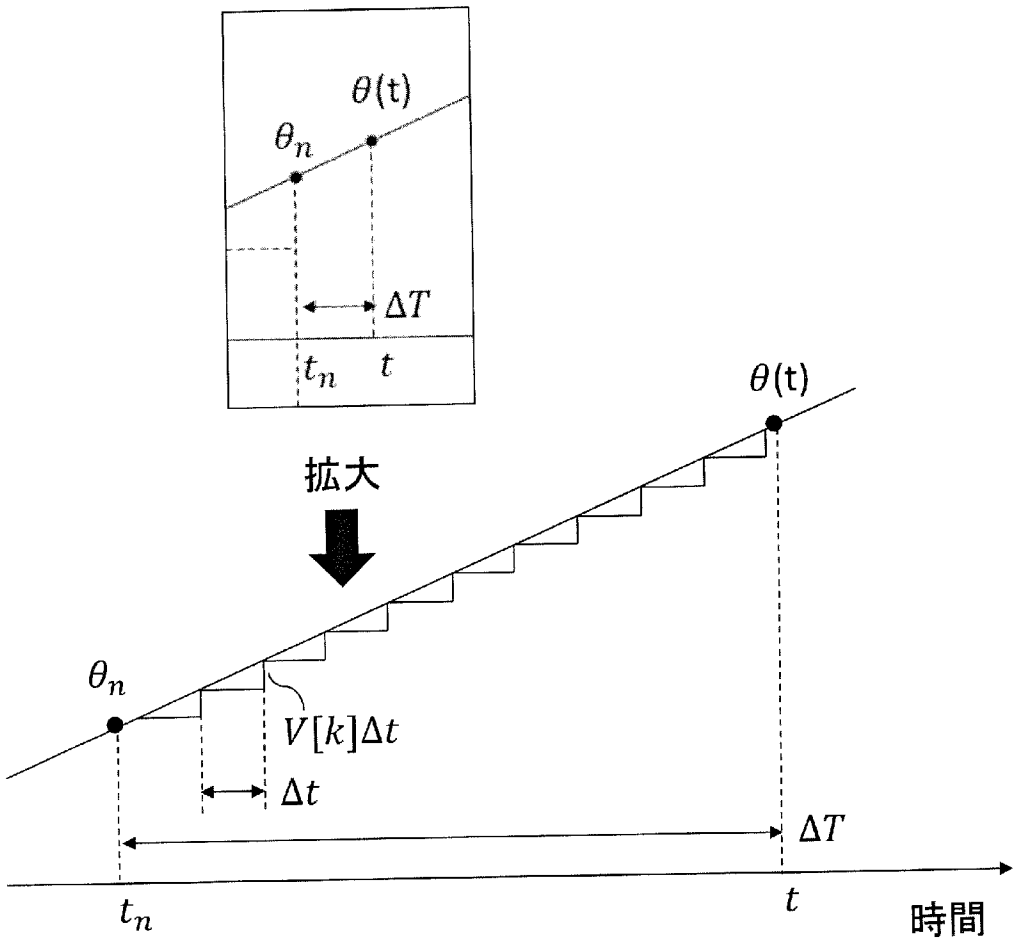
[図12]



0	1	2	...	N-1	N	...	0	1	2	...

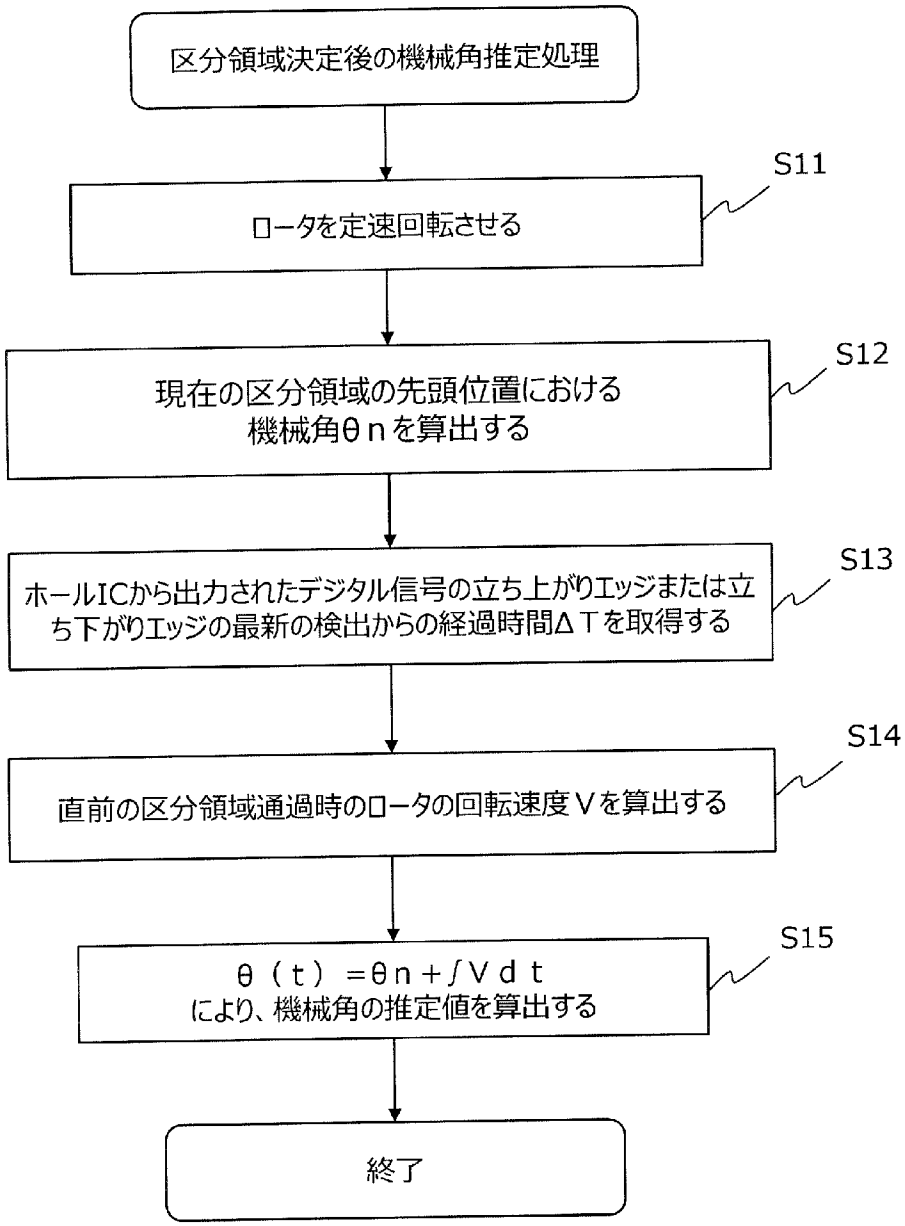
$$V = \frac{\theta_n - \theta_{n-1}}{t_n - t_{n-1}} \qquad \theta(t) = \theta_n + \int V dt$$

[図13]

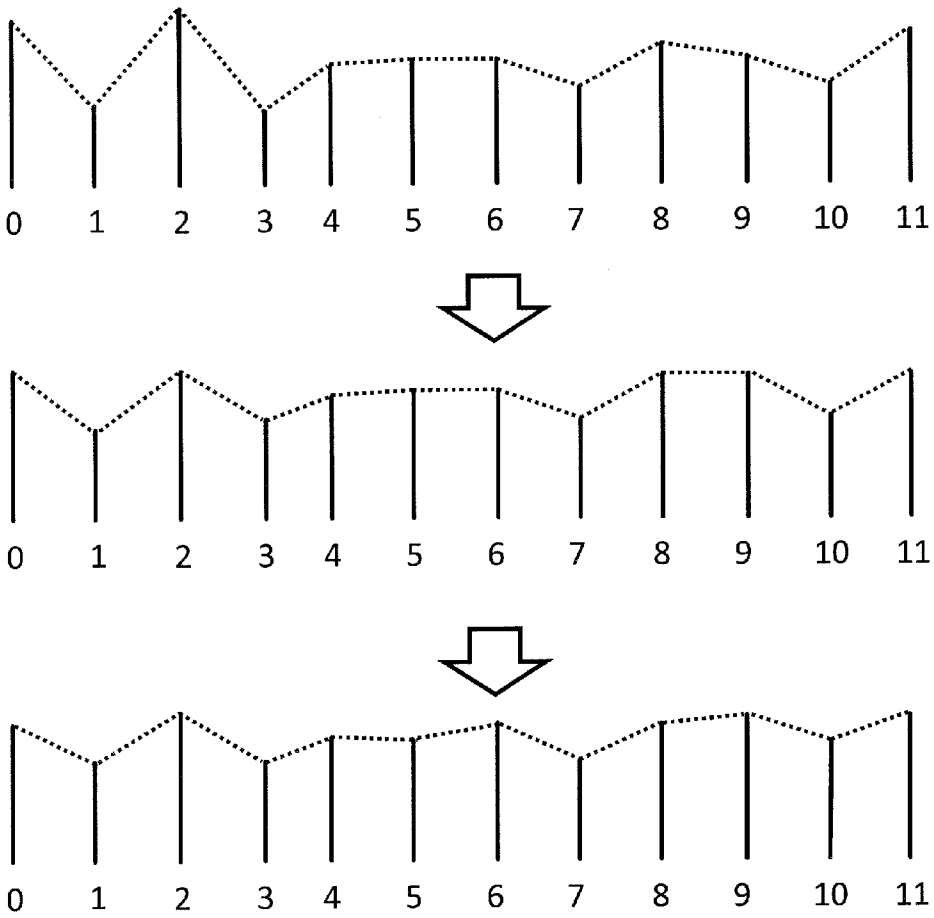


$$\theta(t) = \theta_n + \int V dt = \theta_n + V\Delta T = \theta_n + \sum V[k]\Delta t$$

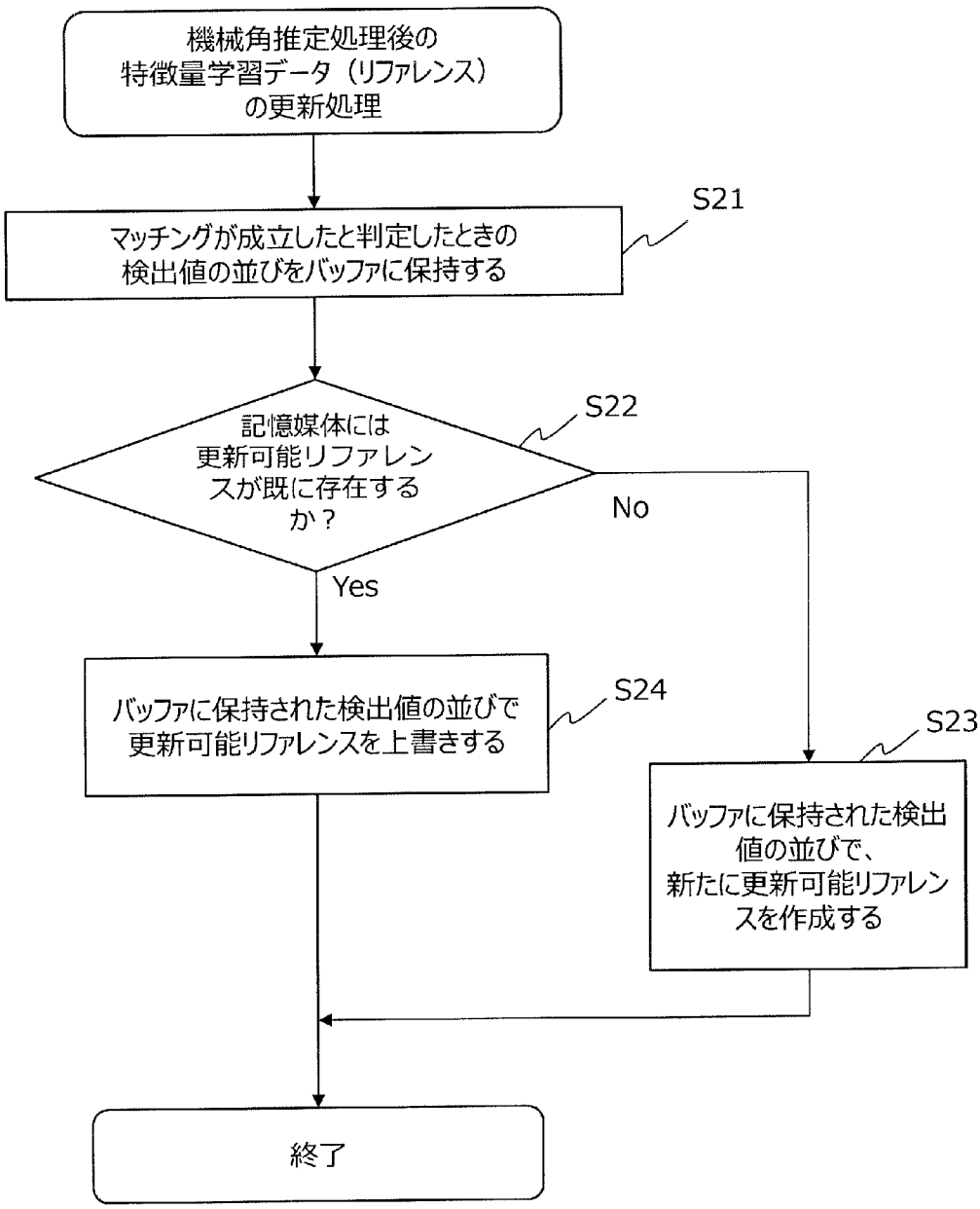
[図14]


区分領域決定後の機械角推定処理
S11
ロータを定速回転させる
S12
現在の区分領域の先頭位置における
機械角θｎを算出する
S13
ホールICから出力されたデジタル信号の立ち上がりエッジまたは立
ち下がりエッジの最新の検出からの経過時間ΔＴを取得する
S14
直前の区分領域通過時のロータの回転速度Ｖを算出する
S15
θ（ｔ）＝θｎ＋∫Ｖｄｔ
により、機械角の推定値を算出する
終了

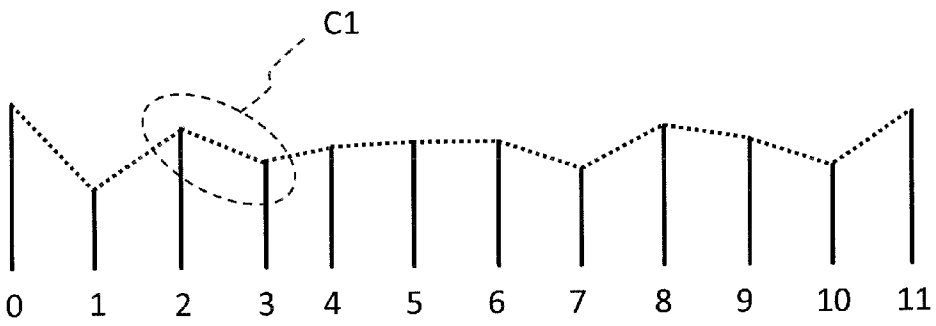
[図15]



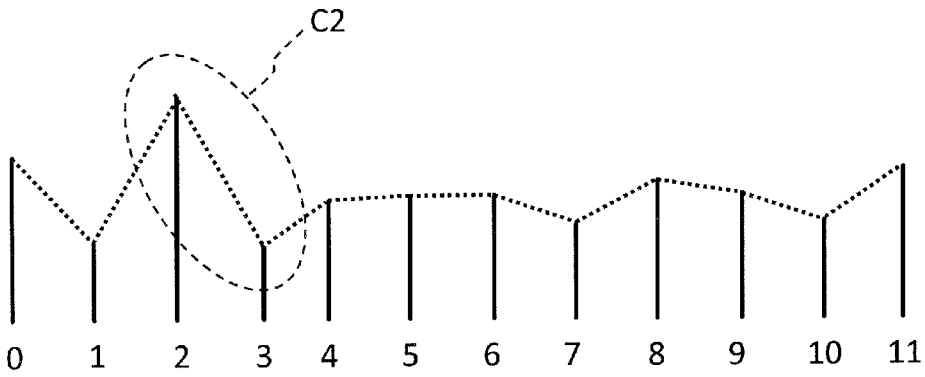
[図16]


機械角推定処理後の
特徴量学習データ（リファレンス）
の更新処理
マッチングが成立したと判定したときの
検出値の並びをバッファに保持する
S21
記憶媒体には
更新可能リファレン
スが既に存在する
か？
S22
No
Yes
バッファに保持された検出値の並びで
更新可能リファレンスを上書きする
S24
バッファに保持された検出
値の並びで、
新たに更新可能リファレン
スを作成する
S23
終了

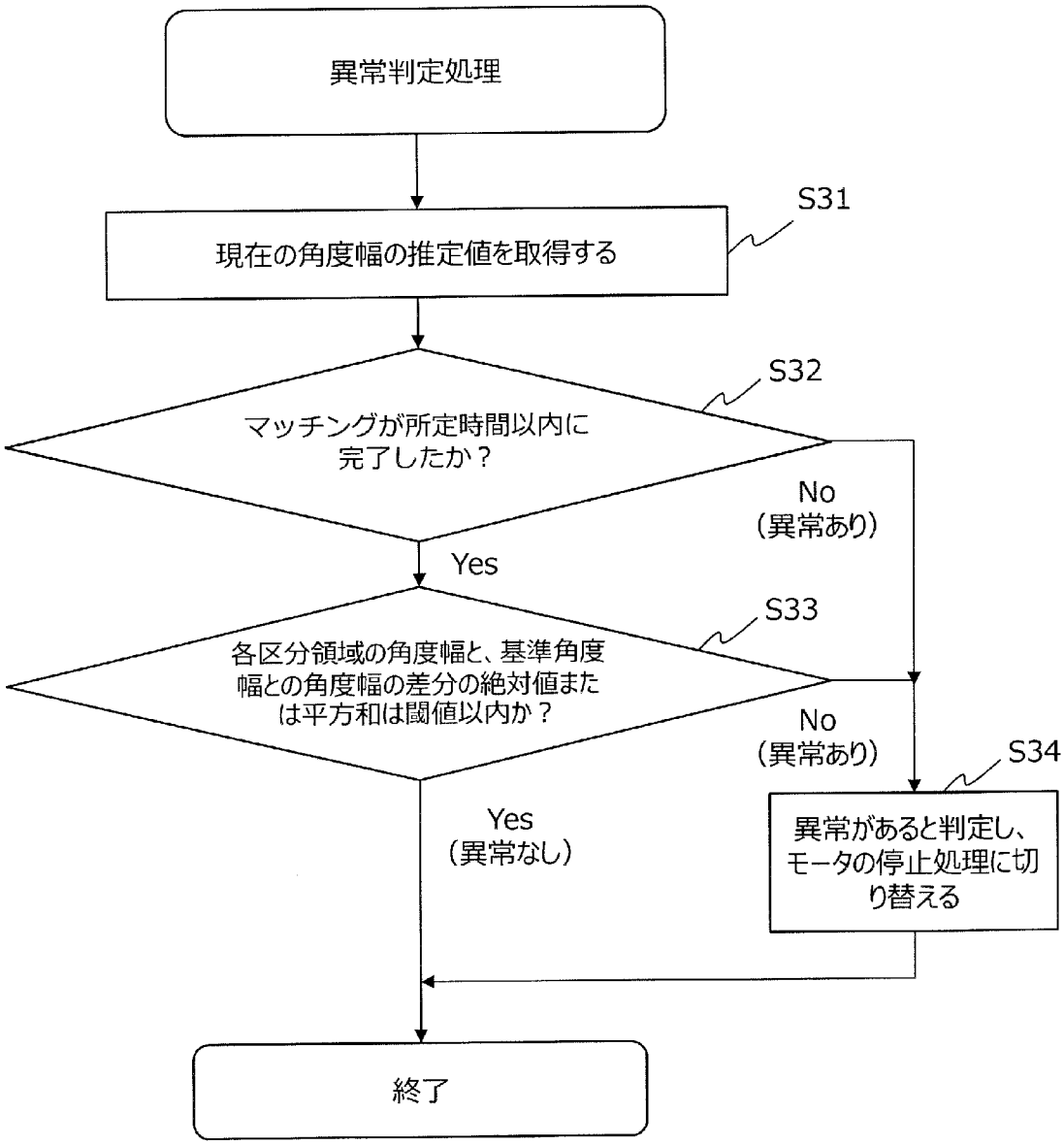
[図17A]


C1
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11

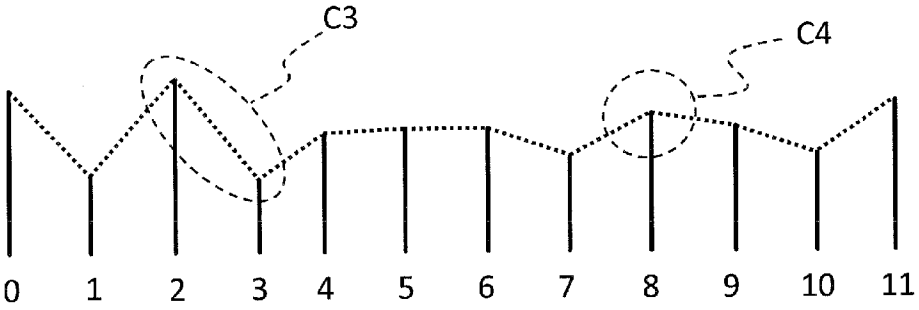
[図17B]


C2
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11

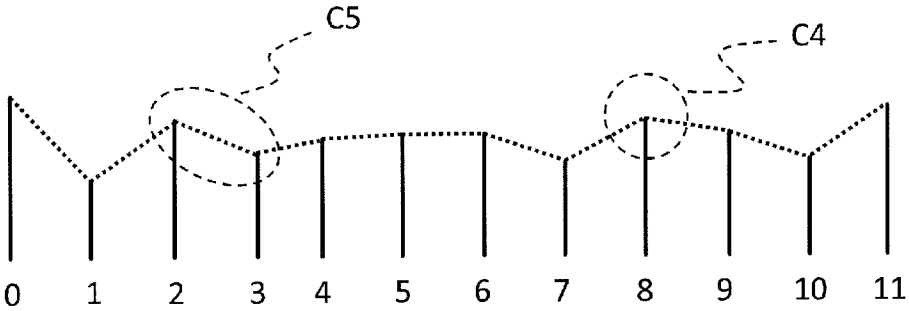
[図18]


異常判定処理
S31
現在の角度幅の推定値を取得する
S32
マッチングが所定時間以内に
完了したか？
No
(異常あり)
Yes
S33
各区分領域の角度幅と、基準角度
幅との角度幅の差分の絶対値また
は平方和は閾値以内か？
No
(異常あり)
S34
異常があると判定し、
モータの停止処理に切
り替える
Yes
(異常なし)
終了

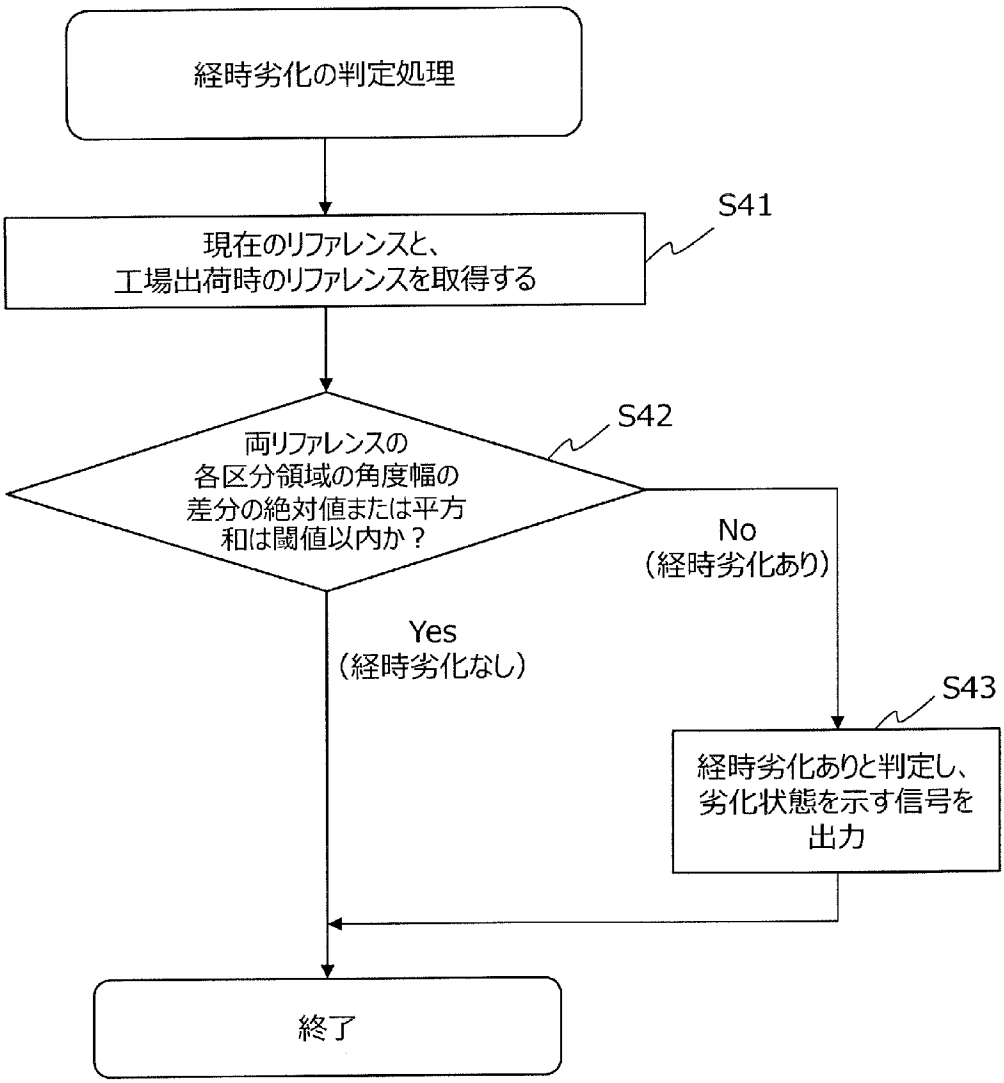
[図19A]



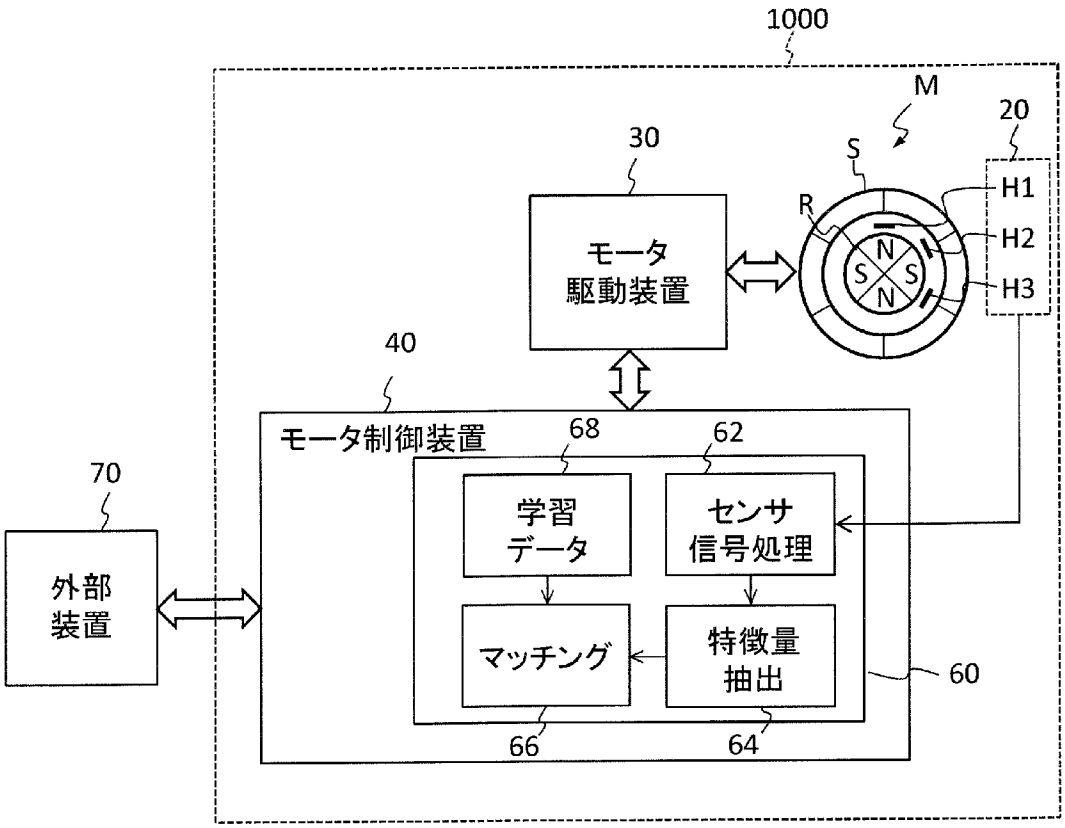
[図19B]



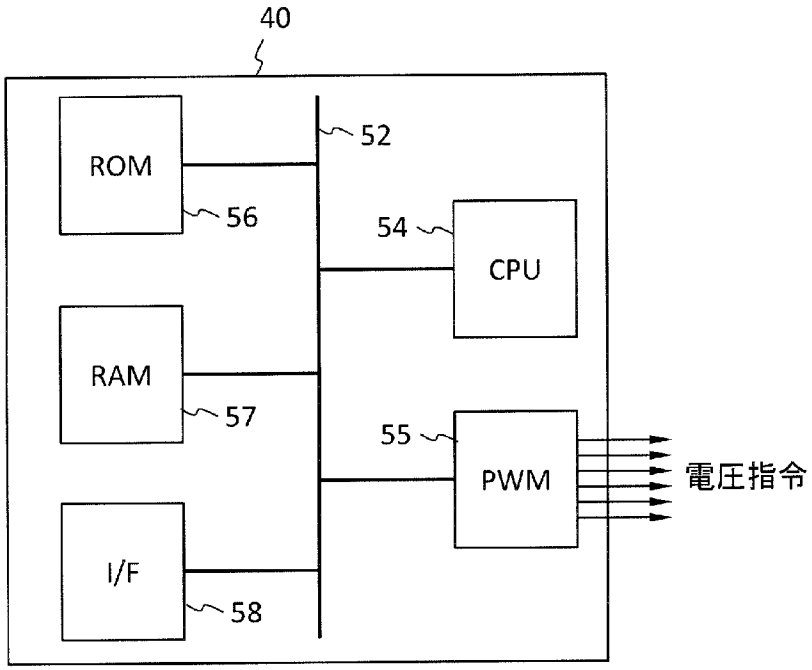
[図20]



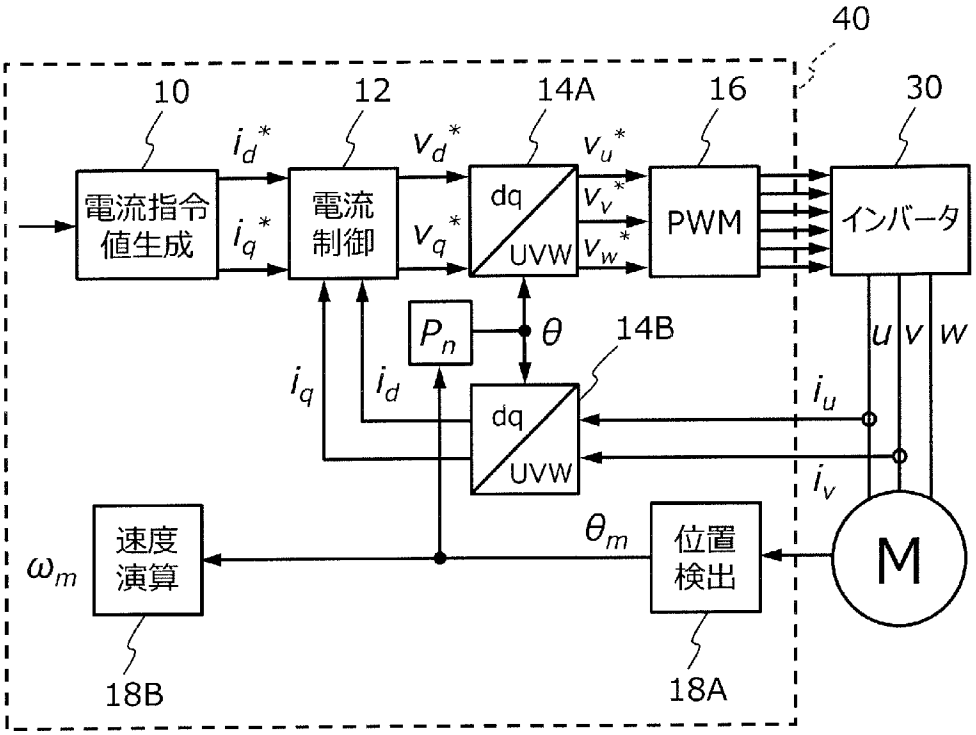
[図21]


1000
M
20
30
S
R
H1
H2
H3
モータ
駆動装置
N
S
S
N
40
モータ制御装置
68
62
70
学習
データ
センサ
信号処理
外部
装置
マッチング
特徴量
抽出
60
66
64

[図22]


40
ROM
52
56
54
CPU
RAM
57
55
PWM
電圧指令
I/F
58

[図23]


40
10
12
14A
16
30
電流指令値生成
電流制御
dq
UVW
PWM
インバータ
i_d^*
i_q^*
v_d^*
v_q^*
v_u^*
v_v^*
v_w^*
P_n
θ
14B
i_q
i_d
i_u
i_v
u
v
w
M
速度演算
位置検出
ω_m
θ_m
18B
18A

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2019/030648

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl. H02P6/16(2016.01)i, H02P23/14(2006.01)i
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl. H02P6/16, H02P23/14

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2019
Registered utility model specifications of Japan	1996-2019
Published registered utility model applications of Japan	1994-2019

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2018-98886 A (DENSO CORP.) 21 June 2018, entire text, all drawings & WO 2018/110455 A1	1-11
A	WO 2016/194919 A1 (NAMIKI PRECISION JEWEL CO., LTD.) 08 December 2016, entire text, all drawings (Family: none)	1-11
A	WO 2016/104378 A1 (NIDEC CORPORATION) 30 June 2016, entire text, all drawings & JP 2018-29469 A & US 2017/0343382 A1, entire text, all drawings & EP 3240182 A1 & KR 10-2017-0090463 A & CN 107148741 A	1-11

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
10 October 2019 (10.10.2019)	21 October 2019 (21.10.2019)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2015)

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１９／０３０６４８

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H02P6/16(2016.01)i, H02P23/14(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H02P6/16, H02P23/14

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１９年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１９年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１９年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	JP 2018-98886 A (株式会社デンソー) 2018.06.21, 全文、全図 & WO 2018/110455 A1	1-11
A	WO 2016/164919 A1 (並木精密宝石株式会社) 2016.12.08, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-11
A	WO 2016/104378 A1 (日本電産株式会社) 2016.06.30, 全文、全図 & JP 2018-29471 A & US 2017/0343382 A1, 全文、全図 & EP 3240182 A1 & KR 10-2017-0090463 A & CN 107148741 A	1-11

☐　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
１０．１０．２０１９	２１．１０．２０１９

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　３Ｖ　９３３５
尾家　英樹
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３５７