

(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)



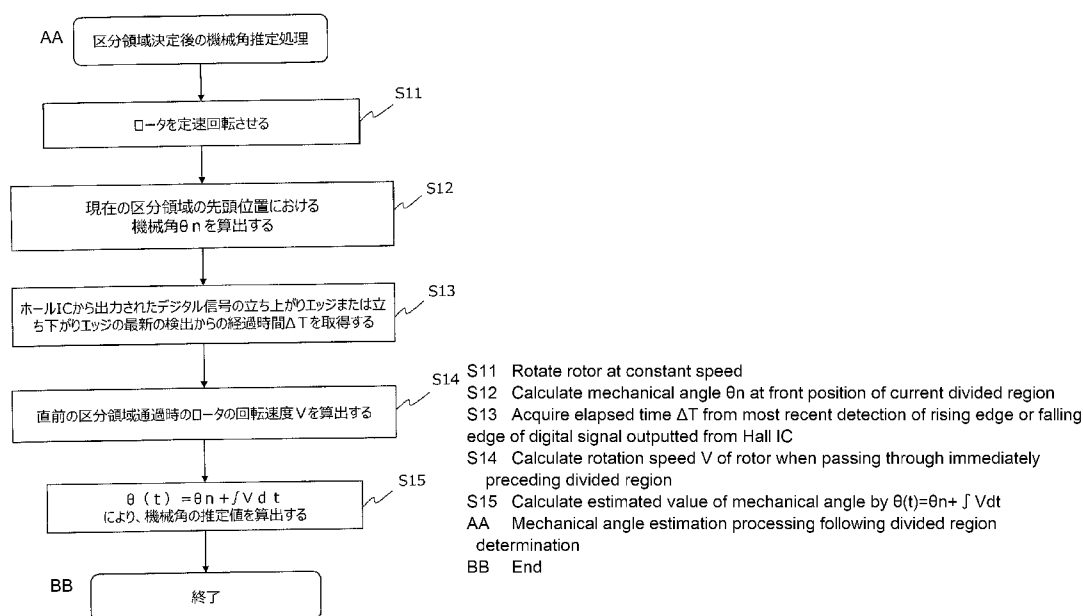
(10) 国際公開番号

WO 2020/031882 A1

- (51) 国際特許分類:
H02P 6/16 (2016.01) *H02P 6/12* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2019/030435
- (22) 国際出願日: 2019年8月2日(02.08.2019)
- (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 2018-149712 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 3 3 8 番地 Kyoto (JP).
- (72) 発明者: 高江 剛一 (TAKAE, Koichi); 〒6018205 京都府京都市南区久世殿城町 3 3 8 番地 日本電産株式会社内 Kyoto (JP). 居 超 (JU, Chao); 〒6018205 京都府京都市南区久世殿城町 3 3 8 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 3 3 8 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



(57) Abstract: This position estimation method includes: the acquisition of learning data from a storage medium for storing learning data, which includes a list of a plurality of measured values which define the waveform characteristics of a first electrical signal outputted from a sensor device when a rotor is rotating; the sequential acquisition of a list of a plurality of detected values which define the waveform characteristics of a second electrical signal outputted by the sensor device when the rotor is rotating; the estimation of the relationship between the rotation positions of the rotor when the first and second electrical signals are outputted, by performing matching between the list of the plurality of measured

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)）

values and the list of the plurality of detected values; and the determination of the mechanical angle of the rotor in each divided region, on the basis of the rotor rotation speed and the elapsed time from the front of the divided region associated with the current mechanical position of the rotor.

(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学習データを記憶する記憶媒体から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順次取得すること、複数の測定値の並びと複数の検出値の並びとの間でマッチングを行うことにより、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、および、ロータの現在の機械位置に関係づけられた区分領域先頭からの経過時間とロータの回転速度とに基づいて、該区分領域におけるロータの機械角を決定することを含む。

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、および、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、を実行し、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ており、前記コンピュータは、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、前記デジタル信号の前記立ち上がりエッジまたは前記立ち下がりエッジの最新の検出からの経過時間と、前記ロータの回転速度とに基づいて、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における前記ロータの機械角を決定する。

[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、および、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、を実行し、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ており、前記コンピュータは、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、前記デジタル信号の前記立ち上がりエッジまたは前記立ち下がりエッジの最新の検出からの経過時間と、前記ロータの回転速度とに基づいて、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における前記ロータの機械角を決定する。

[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H_u、H_vおよびH_w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 $\Delta\theta[i]$ 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 Φ_g を形成し、マグネットトルクに寄与する。ギャップの磁束 Φ_g は、ロータRの外周表面における周方向位置 θ_s 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 $\Phi_g = f(\theta_s)$ で表すことができる。磁束 Φ_g 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 θ_s 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 Φ_g 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 θ_s が 2π ラジアン (360°) だけ変化する間に、磁束 Φ_g は 2 周期だけ正弦波状に振動する。ここで、磁束 Φ_g 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、「 $360^\circ \times$ 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 H_u 、 H_v 、 H_w は、それぞれ、ロータ R の磁極 N_0 、 S_0 、 N_1 、 S_1 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 N_0 の中央がホール素子 H_u に対向したとき、ホール素子 H_u 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 N_0 の中央がホール素子 H_u から遠ざかるにつれ、ホール素子 H_u 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 S_0 の中央がホール素子 H_u に対向したとき、ホール素子 H_u 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 N_1 の中央がホール素子 H_u に対向したとき、ホール素子 H_u の出力は次の極大値を示し得る。こうして、ホール素子 H_u 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 H_v 、 H_w も、ホール素子 H_u 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 H_v 、 H_w は、ホール素子 H_u 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 H_u 、 H_v 、 H_w は、磁極 N_0 、 S_0 、 N_1 、 S_1 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 H_u 、 H_v 、 H_w 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ホール素子H_u、H_v、H_w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H_uの出力は一点鎖線、ホール素子H_vの出力は点線、ホール素子H_wの出力は実線で示されている。図2におけるホール素子H_w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H_w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H_u、H_v、H_w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H_u、H_v、H_w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H_u、H_v、H_wの製造ばらつきに起因する個体差と、ホール素子H_u、H_v、H_w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H_u、H_v、H_w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、ステータの巻線を通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H_u、H_v、H_w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 、 $\dots$ 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 、 $\dots$ 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 $\theta[i]$ で表わし、エッジ位相 $\theta[i-1]$ からエッジ位相 $\theta[i]$ までの時間間隔（エッジ間隔）を $\Delta t[i]$ 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 $\Delta t[0]$ 、 $\Delta t[1]$ 、 $\dots$ 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 H 1、H 2、H 3 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、E 0、E 1、E 2、E 3、E 4、E 5 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] H 1、H 2、H 3 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 H 1、H 2、H 3 がそれぞれ「H」、「L」、「L」のとき、ロータ R の位相は電気位置 E 1 にある。ロータ R が回転し、信号 H 2 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、 $6 \times L = N$ 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 E_0 の場合、機械位置 0 のエッジ間隔 ($\theta[1] - \theta[0]$) と機械位置 6 のエッジ間隔 ($\theta[7] - \theta[6]$) 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 $\Delta t[i]$ 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 $\Delta\theta[i]$ 、すなわち、エッジ位相 θ_i 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、 $\Delta t[i] \times$ 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 $i = 0, 1, \dots, N-1$ についての総和を意味する。 $\Sigma \Delta t[i]$ 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 $\Delta\theta[i]$ は、 $\Delta t[i]$ に比例する。ロータ R が等速で 1 回転する間に $\Delta t[i]$ 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 $\Delta\theta[i]$ を求めることができる。こうして、機械位置 $i = 0, 1, \dots, N-1$ のそれぞれについて、角度幅 Δ

$\theta [i]$ の測定値を取得することができる。角度幅 $\Delta \theta [i]$ 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 $\Delta \theta [i]$ 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 $i = 0, 1, \dots, 11$ のそれぞれについて、角度幅 $\Delta \theta [i]$ 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 $\Delta \theta [i]$ の測定値は、機械位置 i によって異なる。角度幅 $\Delta \theta [i]$ 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 $i = 0, 1, \dots, 11$ のそれぞれについて、角度幅 $\Delta \theta [i]$ 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） $\Delta \theta [i]$
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 $\Delta \theta [i]$ 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 $\Delta \theta [i]$ 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 I C を利用する場合、「複数の検出値」は、ホール I C 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 I C 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 $\Delta\theta[i]$ 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 1 1 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 1 1 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 1 2 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 $\theta(t)$ であるとする。

[0063] まず、 $\theta(t)$ は以下のとおり表される。

$$(\text{数 } 3) \quad \theta(t) = \theta_n + V \cdot \Delta T$$

[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。

$$(\text{数 } 4) \quad \theta_n = \sum \Delta\theta[i] \quad \text{ただし、} i = 0 \sim (n-1) \text{ の整数}$$

[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。

$$(\text{数 } 5)$$

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

[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) $\theta(t) = \theta_n + \int V dt$ (ただし、積分範囲は、時刻 t_n から $(t_n + \Delta T)$ 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 $\theta(t)$ を求める。

(数7) $\theta(t) = \theta_n + \int V dt = \theta_n + \sum \{V[k] \cdot \Delta t\}$ (ただし、 $\sum$ の加算範囲は、 $k=1$ から $\Delta T / \Delta t$ 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 θ_n 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

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 17 A 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 C 1 に注目する。

[0092] 図 17 B 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 C 2 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 C 1 と大きく乖離している。組 C 2 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

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 S 3 1 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 S 3 2 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 S 3 3 に進み、完了しなかった場合には処理はステップ S 3 4 に進む。

[0097] ステップ S 3 3 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 S 3 4 に進む。

[0098] ステップ S 3 4 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

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S 4 3に進む。

[0109] ステップS 4 3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ブリッド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 $\theta [i]$ 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、 $\Delta \theta [i]$ 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、 $\Delta \theta$

[*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 CPU 54、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。CPU 54 の動作を規定するプログラムおよびデータは、ROM 56 および RAM 57 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/F 58 を用いて行うことができる。図 22 に示される CPU 54 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 i_d^* およびq軸電流指令値 i_q^* を生成する。電流制御回路12は、d軸電流指令値 i_d^* およびq軸電流指令値 i_q^* からd軸電圧指令値 V_d^* およびq軸電圧指令値 V_q^* 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(V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^*)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 i_u 、 i_v 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 θ_m を推定する。速度演算回路18Bは、ロータの機械角 θ_m からロータの機械角速度 ω_m 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 i_d 、q軸電流 i_q は、電流制御回路12に与えられ、それぞれ、d軸電流指令値 i_d^* およびq軸電流指令値 i_q^* 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 θ_m 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 ω_m 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の巻線を通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個または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、および、

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、を実行し、

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ており、

前記コンピュータは、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、

前記デジタル信号の前記立ち上がりエッジまたは前記立ち下がりエ

ッジの最新の検出からの経過時間と、前記ロータの回転速度とに基づいて、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における前記ロータの機械角を決定する、方法。

[請求項2] 前記特徴量学習データは、前記複数の区分領域のそれぞれの両端における前記ロータの機械角を示す情報を含む、請求項1に記載の方法。

[請求項3] 前記特徴量学習データは、前記複数の区分領域のそれぞれの両端における前記ロータの機械角と、前記ロータの機械位置および回転方向との関係を示すテーブルを含む、請求項1に記載の方法。

[請求項4] 前記特徴量学習データは、前記複数の区分領域のそれぞれの両端における前記ロータの機械角を、前記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む、請求項1に記載の方法。

[請求項5] 前記コンピュータは、前記ロータが回転しているとき、前記ロータの現在の機械位置および回転方向に基づいて、前記デジタル信号の前記立ち上がりエッジまたは前記立ち下がりエッジの前記最新の検出が行われた時の前記ロータの機械角を決定する、請求項2から4のいずれかに記載の方法。

[請求項6] 前記特徴量学習データは、前記複数の区分領域のそれぞれの角度幅を示す情報を含む、請求項1に記載の方法。

[請求項7] 前記特徴量学習データは、前記複数の区分領域のそれぞれの角度幅と、前記ロータの機械位置および回転方向との関係を示すテーブルを含む、請求項1に記載の方法。

[請求項8] 前記特徴量学習データは、前記複数の区分領域のそれぞれの角度幅と、前記ロータの機械位置および回転方向との関係を変数として与える関数を含む、請求項1に記載の方法。

[請求項9] 前記コンピュータは、前記ロータが回転しているとき、前記複数の区分領域のそれぞれの前記角度幅を積算することにより、前記デジタル信号の前記立ち上がりエッジまたは前記立ち下がりエッジの前記最

新の検出が行われた時の前記ロータの機械角を決定する、請求項 6 から 8 のいずれかに記載の方法。

[請求項10] 前記コンピュータは、前記機械角を決定するとき、
前記デジタル信号の前記立ち上がりエッジまたは前記立ち下がりエッジの前記最新の検出と、 X 個前の検出（ X は 1 以上の整数）との間の時間間隔に基づいて、前記ロータの回転速度を算出する、請求項 1 から 9 のいずれかに記載の方法。

[請求項11] 前記コンピュータは、前記ロータの回転速度を算出するとき、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に先行して連続する X 個の区分領域の角度幅の、前記時間間隔に対する比率を用いる、請求項 10 に記載の方法。

[請求項12] 前記コンピュータは、前記機械角を決定するとき、
所定の周期ごとに算出される前記ロータの回転速度の推定値を用いる、請求項 1 から 9 のいずれかに記載の方法。

[請求項13] 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 1 から 12 のいずれかに記載の方法。

[請求項14] 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 13 のいずれかに記載の方法。

[請求項15] 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、および、

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、を実行し、

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ており、

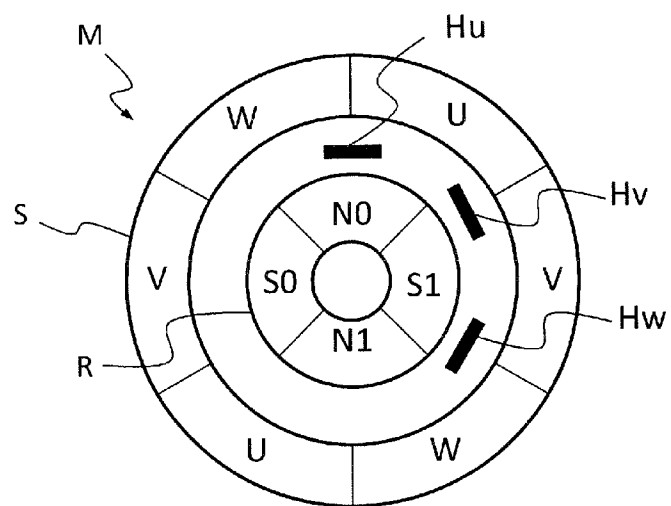
前記コンピュータは、

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、

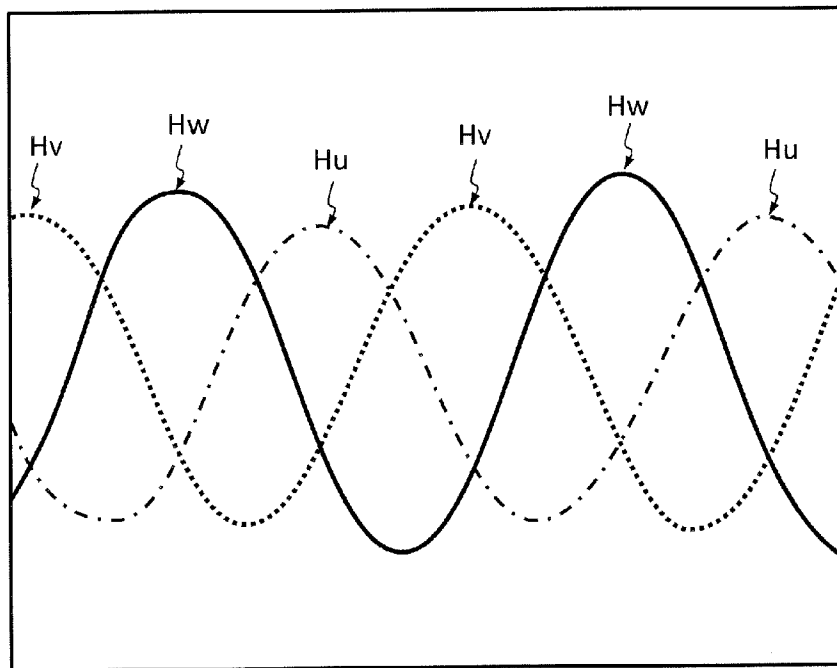
前記デジタル信号の前記立ち上がりエッジまたは前記立ち下がりエッジの最新の検出からの経過時間と、前記ロータの回転速度とに基づいて、前記ロータの現在の機械位置に関係づけられた区分領域における前記ロータの機械角を決定する、モータ制御装置。

- [請求項16] 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15に記載のモータ制御装置と、を備える、モータシステム。

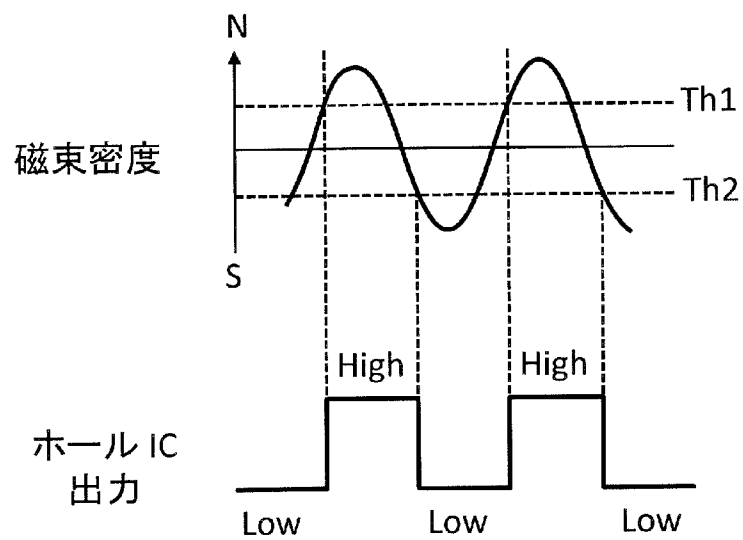
[図1]



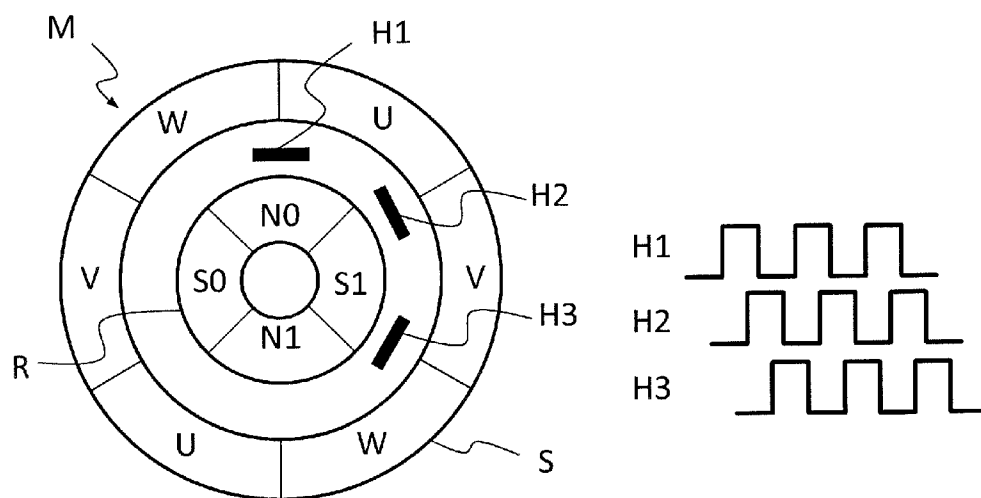
[図2]



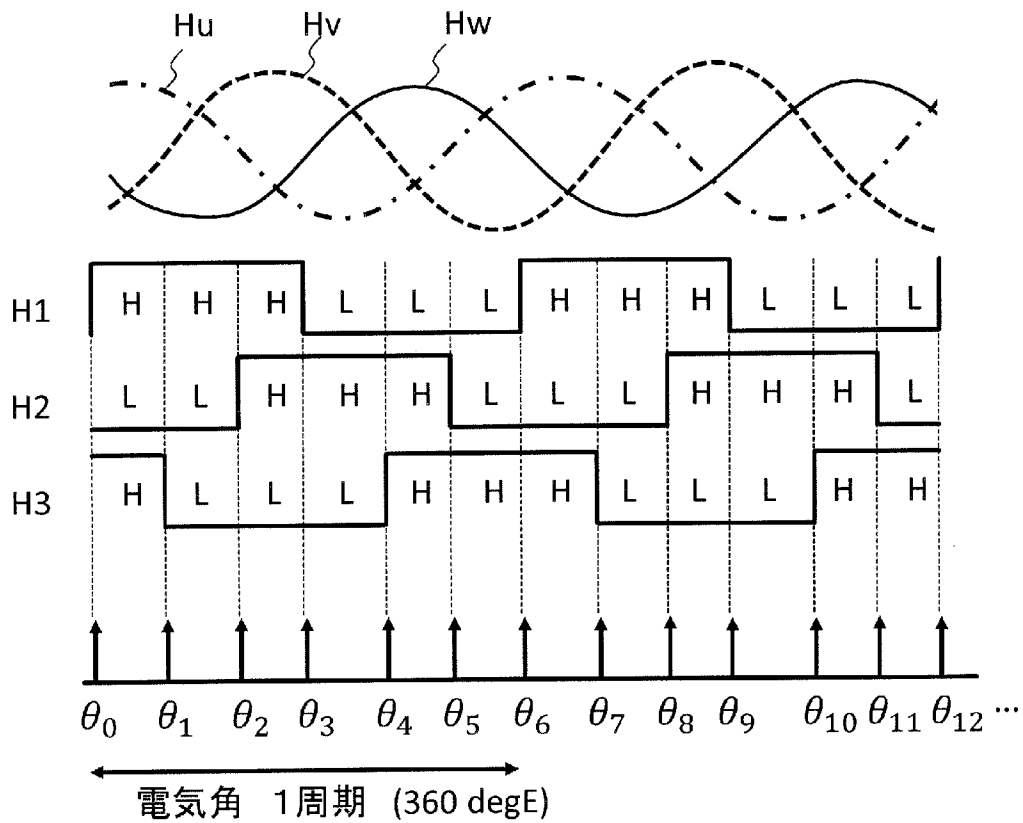
[図3]



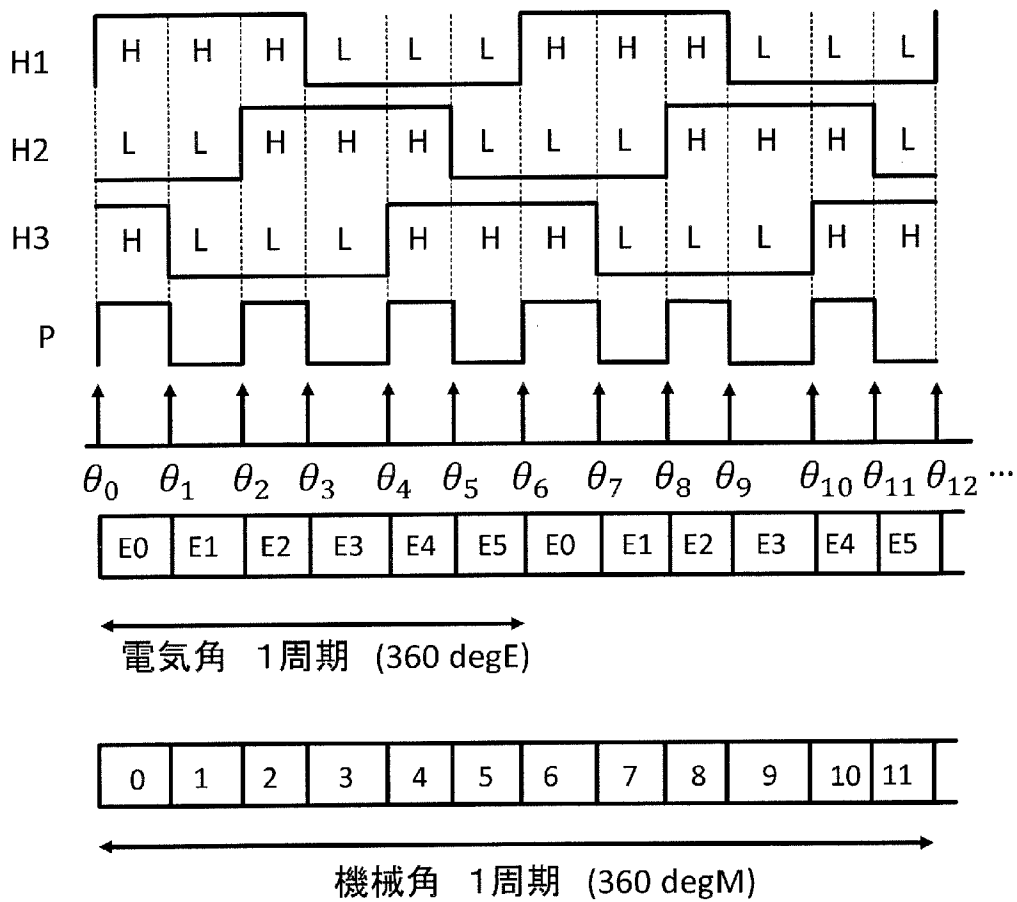
[図4]



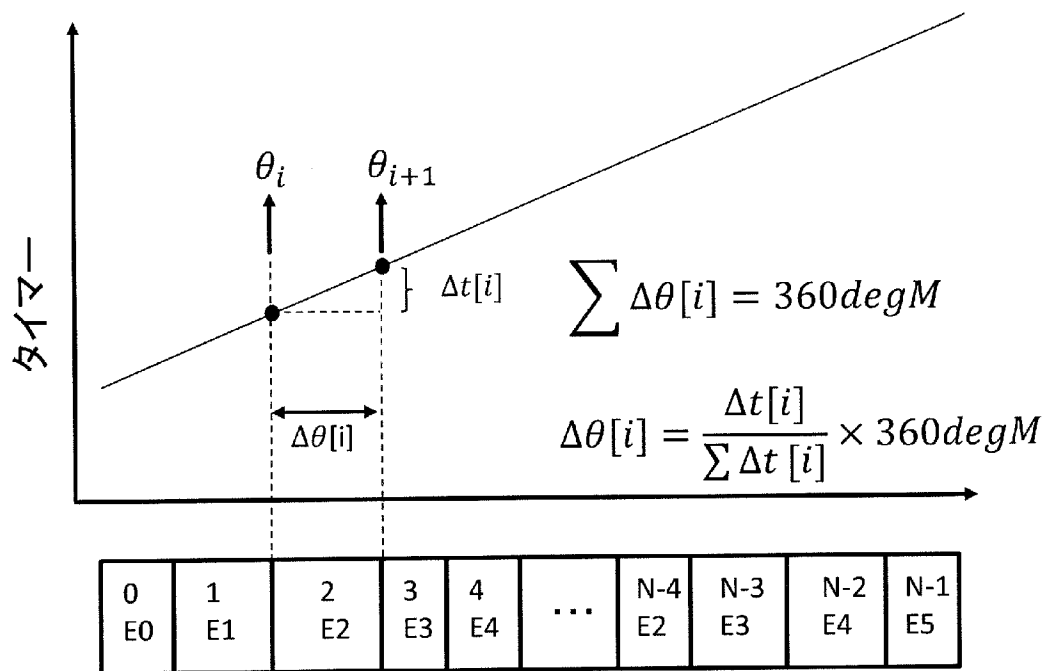
[図5]



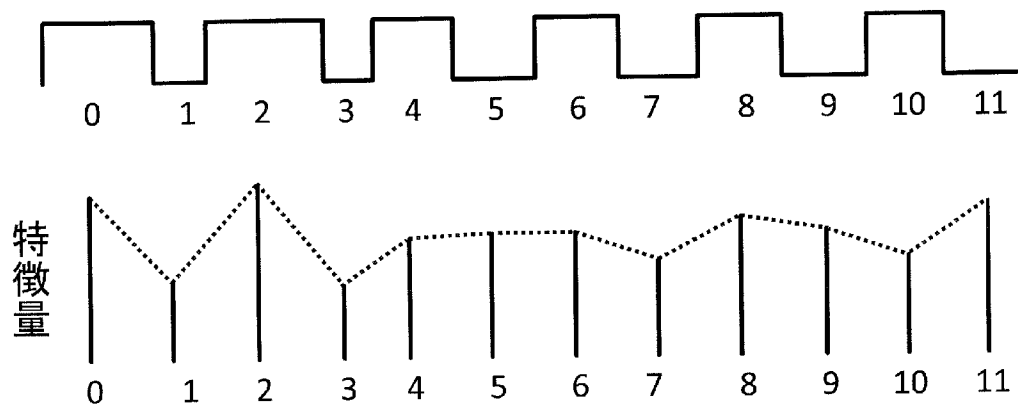
[図6]



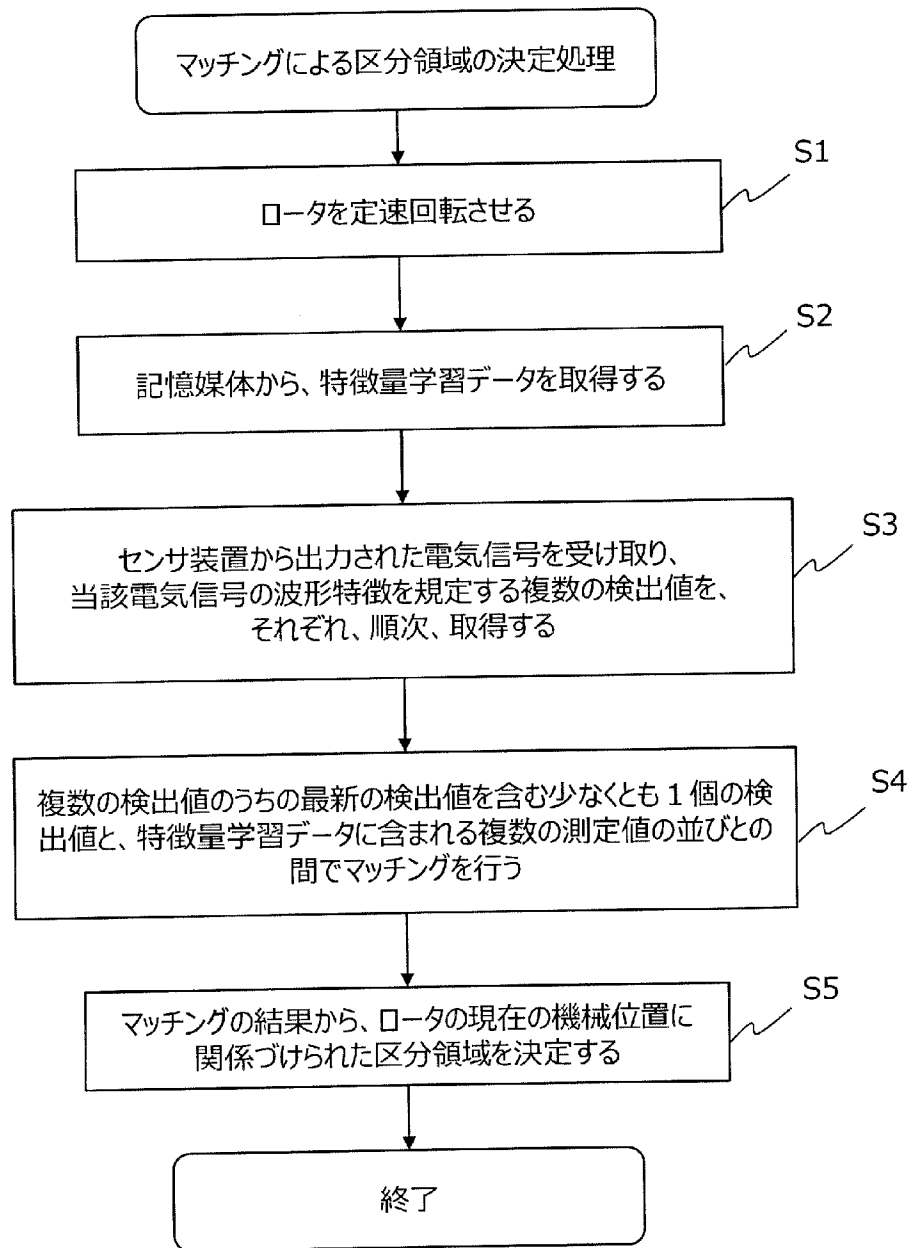
[図7]



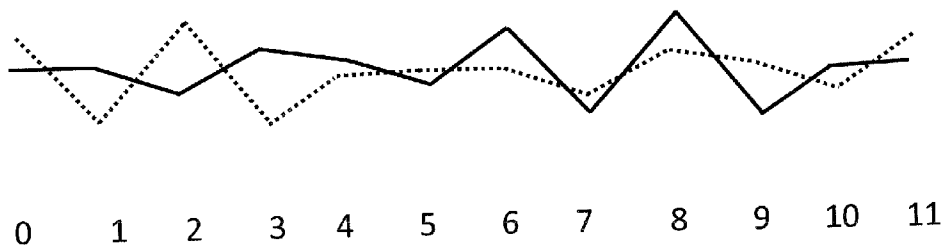
[図8]



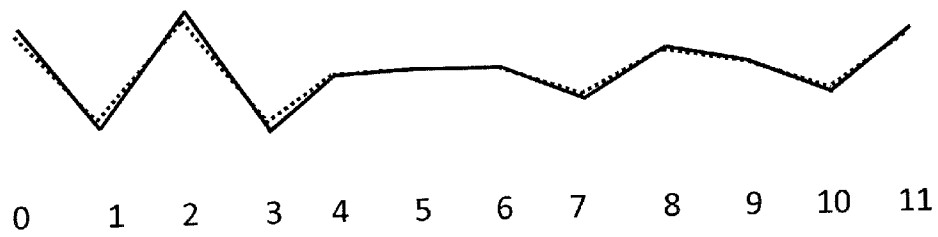
[図9]



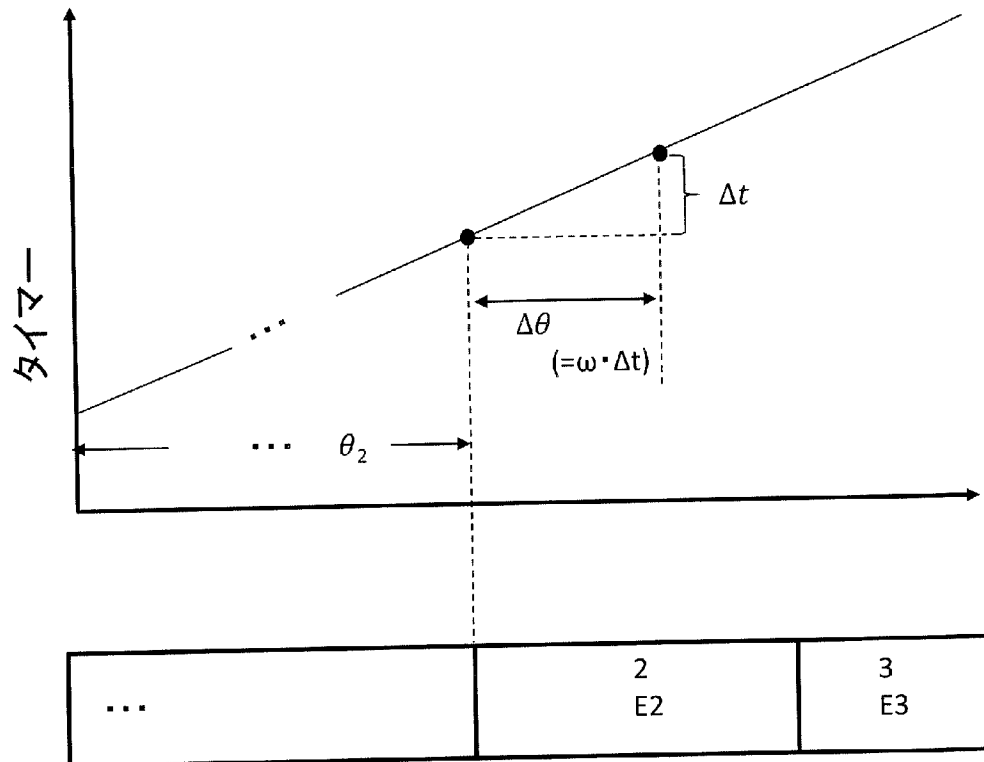
[図10A]



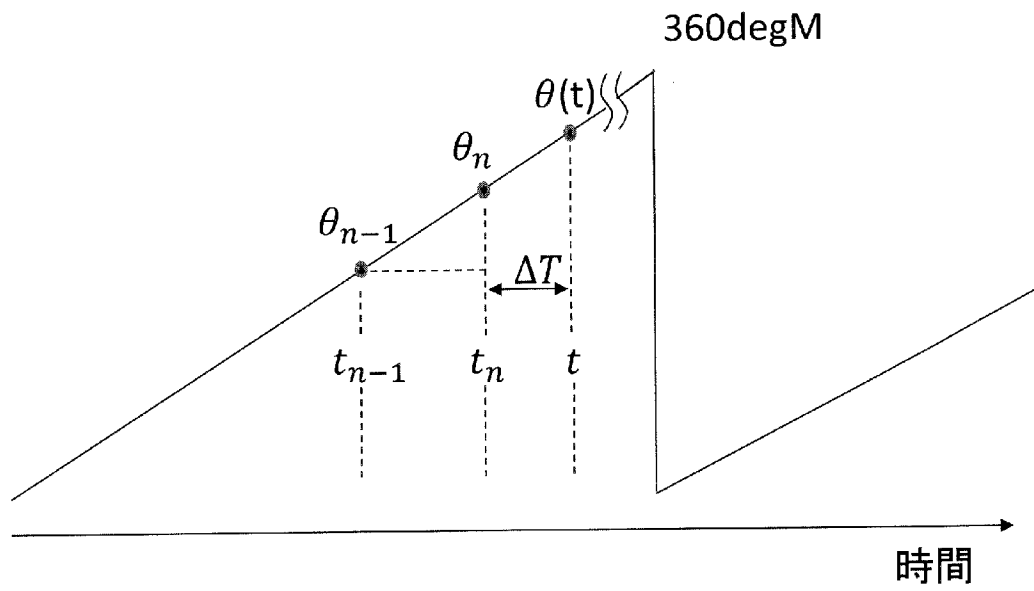
[図10B]



[図11]



[図12]

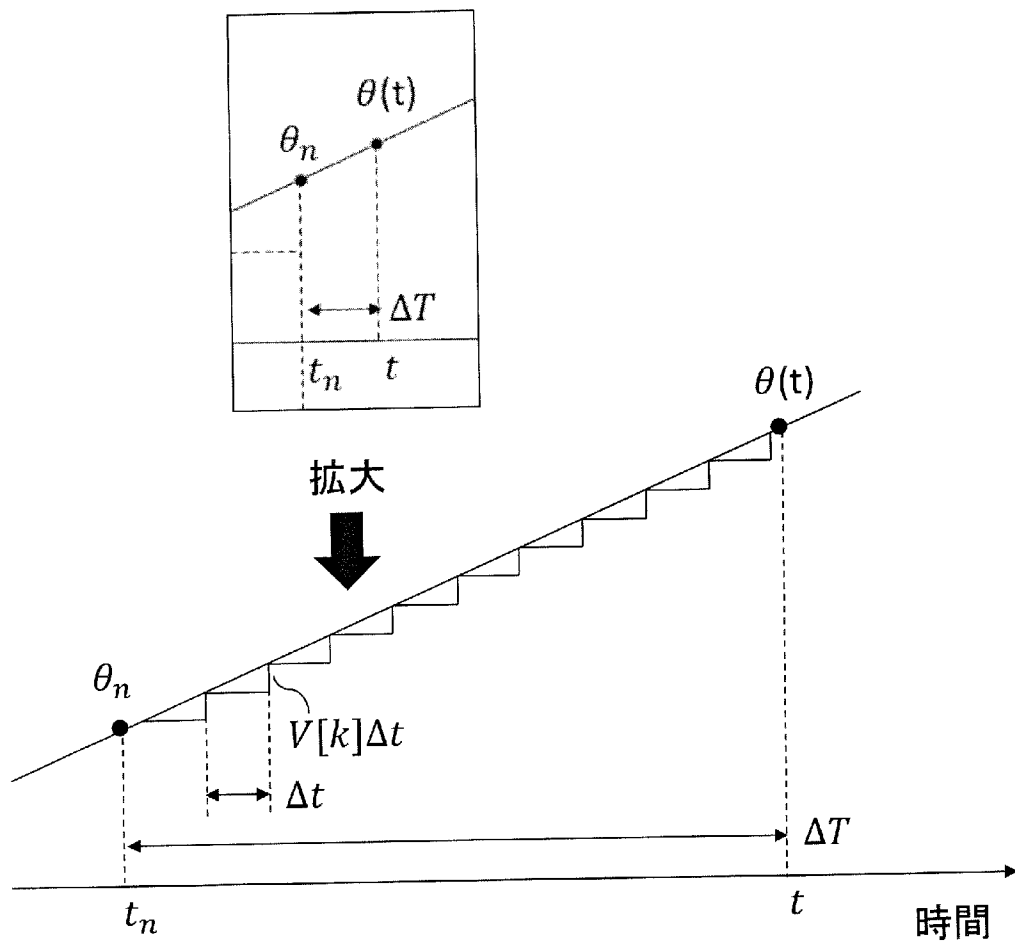


0	1	2	...	N-1	N	...	0	1	2	...
---	---	---	-----	-----	---	-----	---	---	---	-----

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

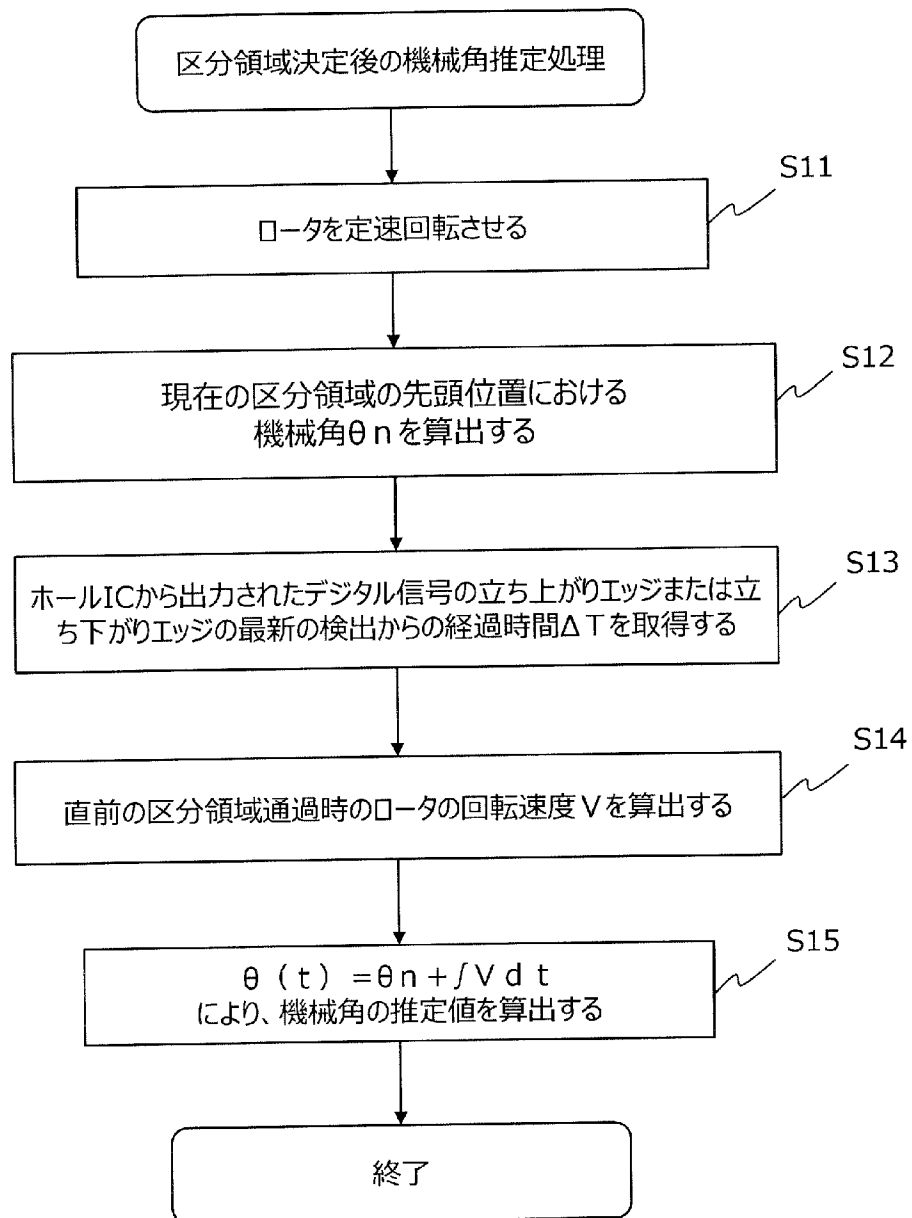
$$\theta(t) = \theta_n + \int V dt$$

[図13]

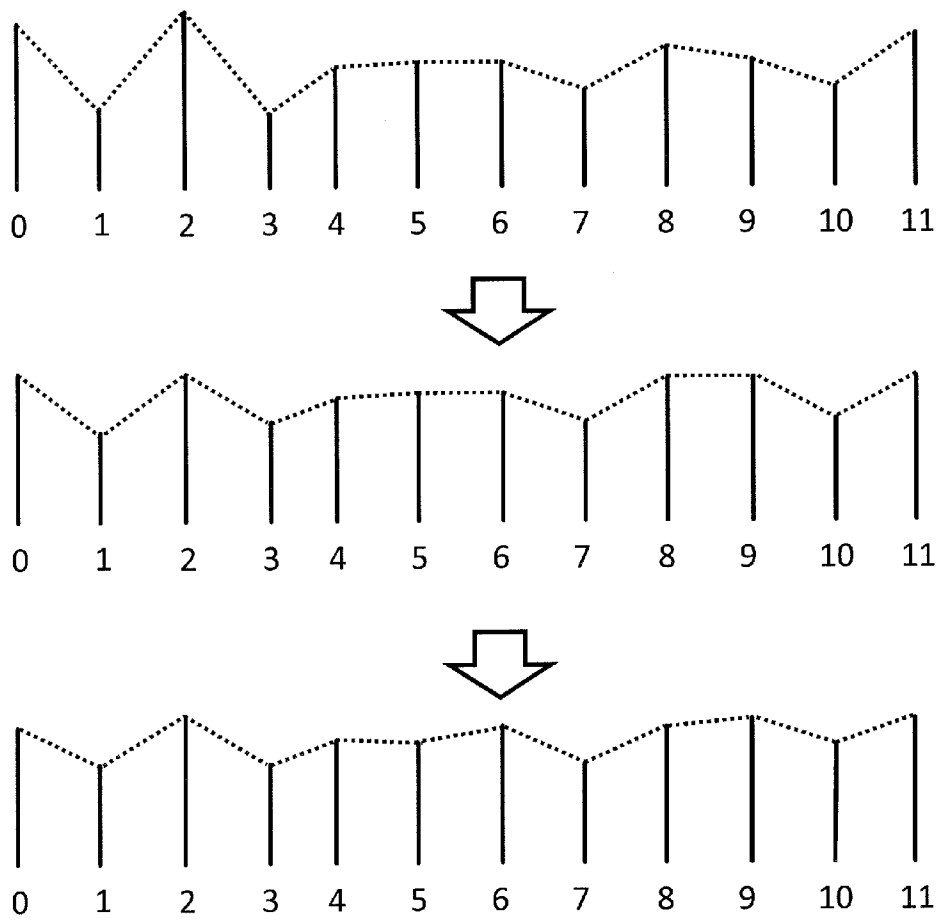


$$\theta(t) = \theta_n + \int V dt = \theta_n + V \Delta T = \theta_n + \sum V[k] \Delta t$$

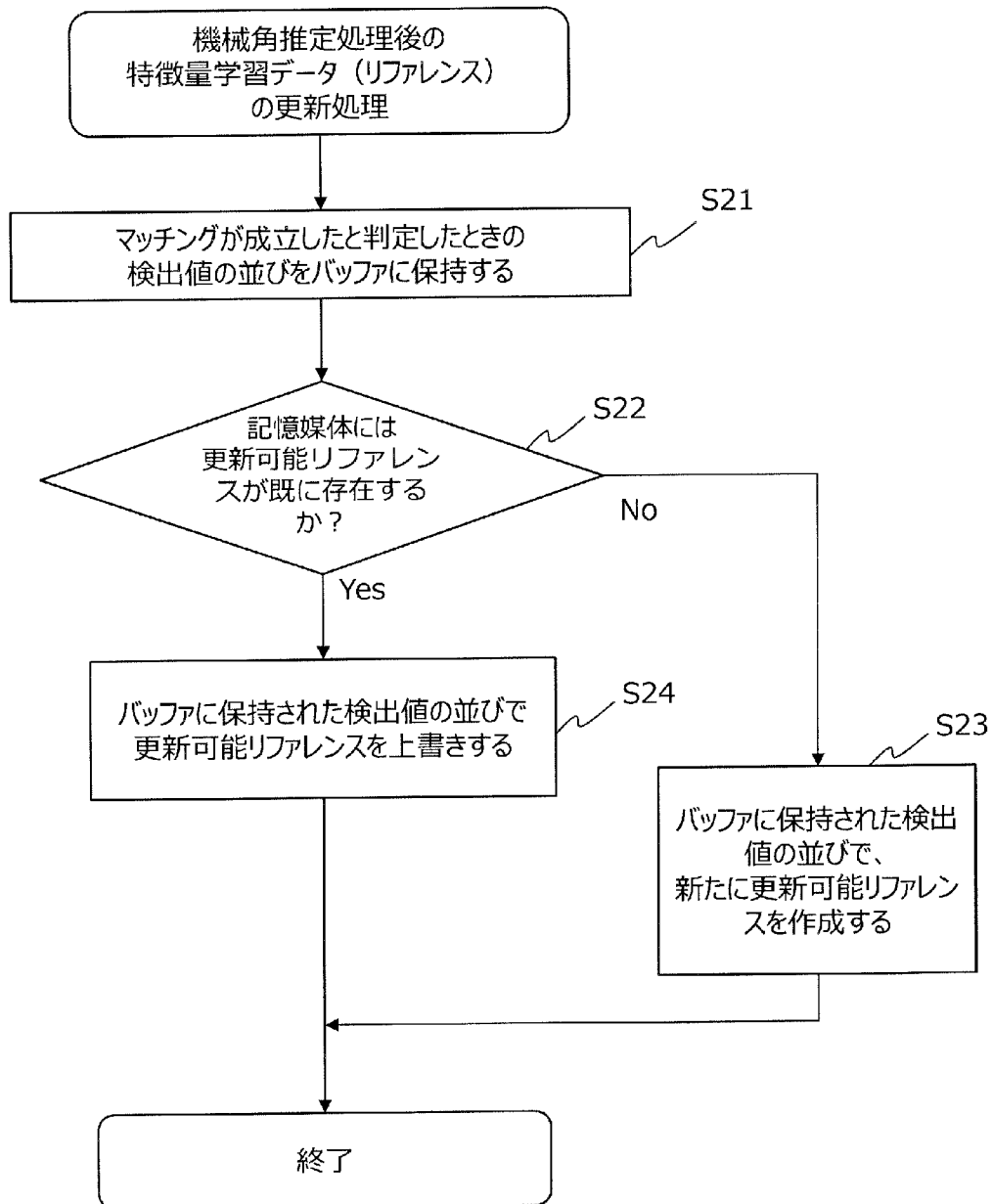
[図14]



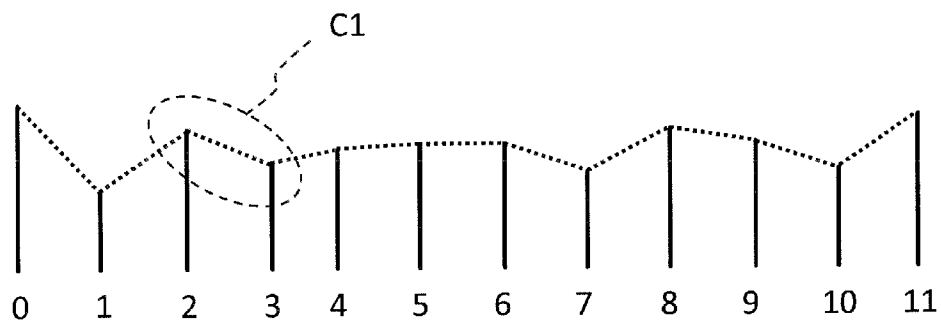
[図15]



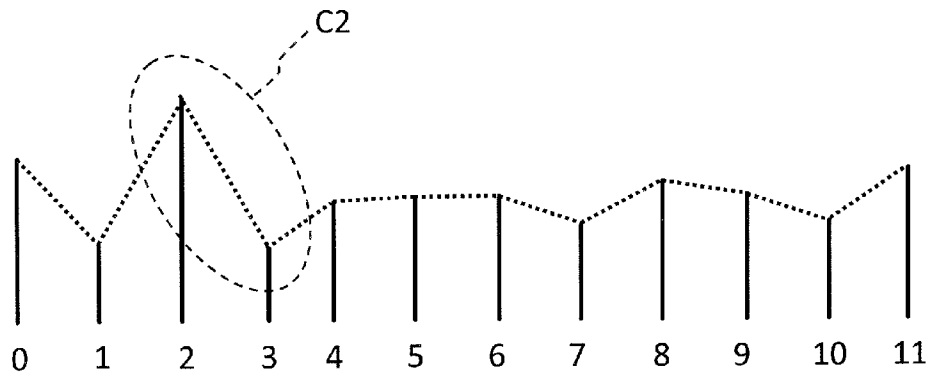
[図16]



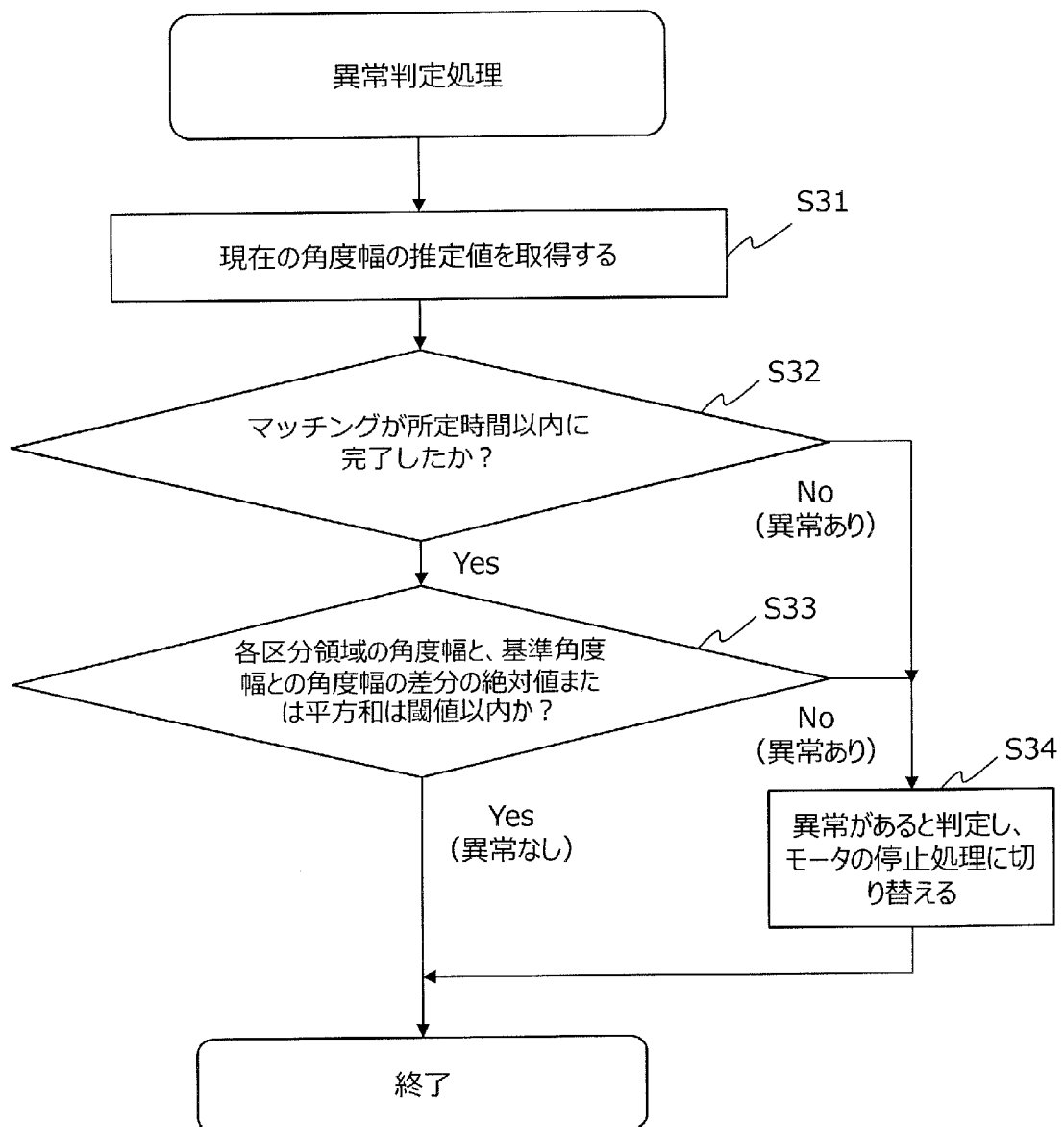
[図17A]



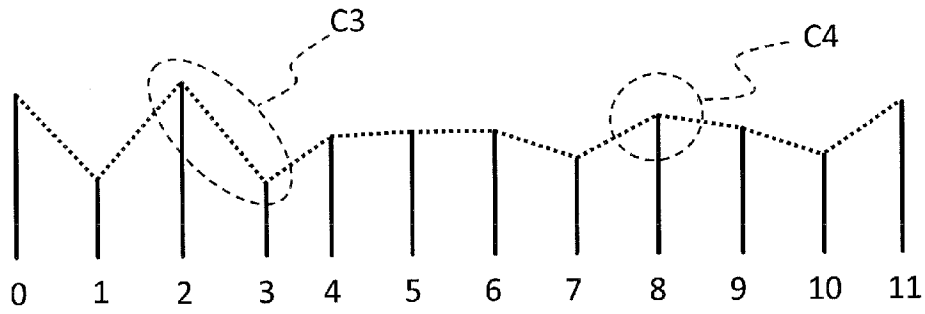
[図17B]



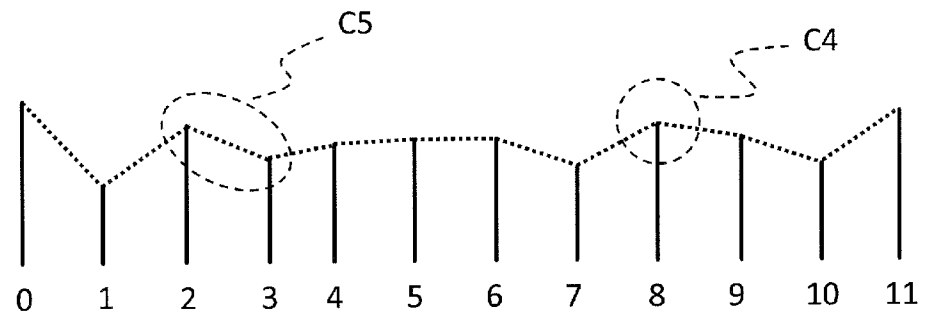
[図18]



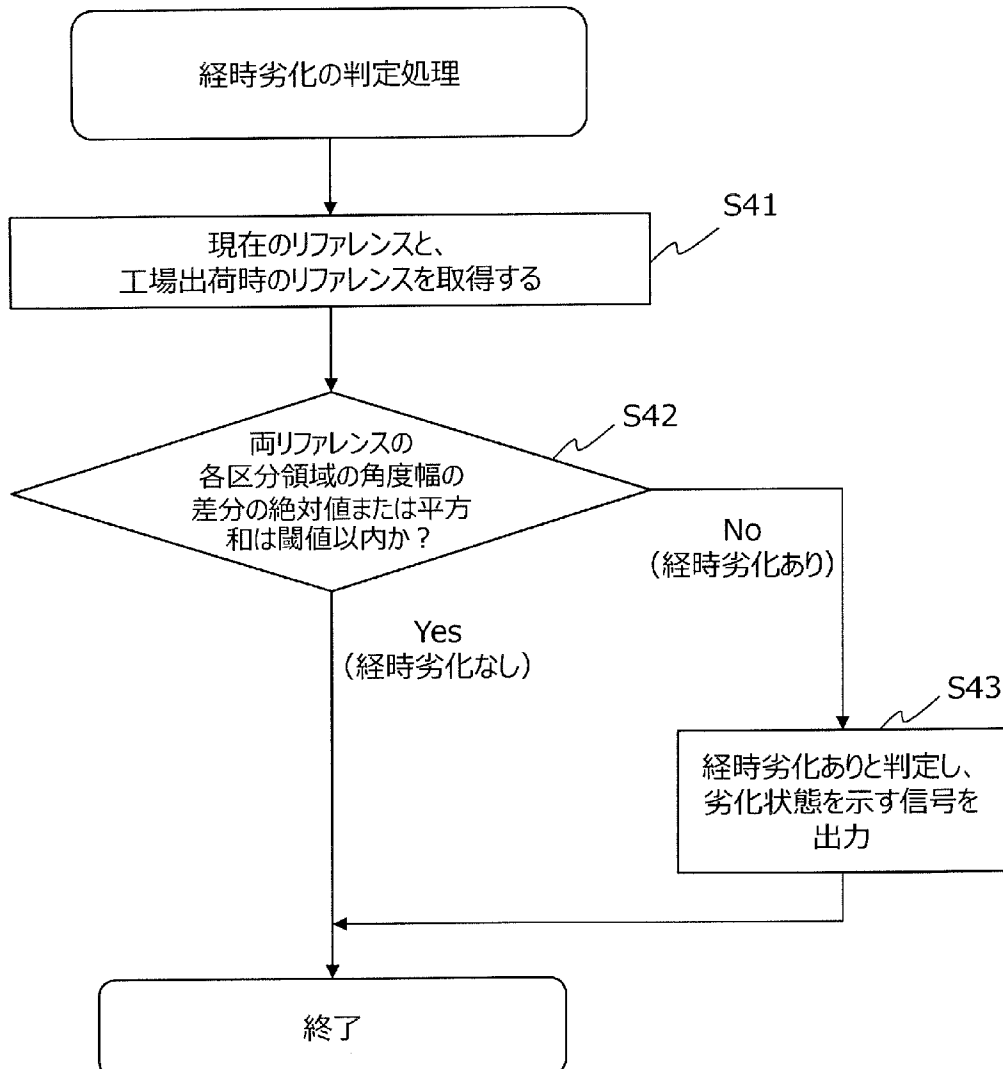
[図19A]



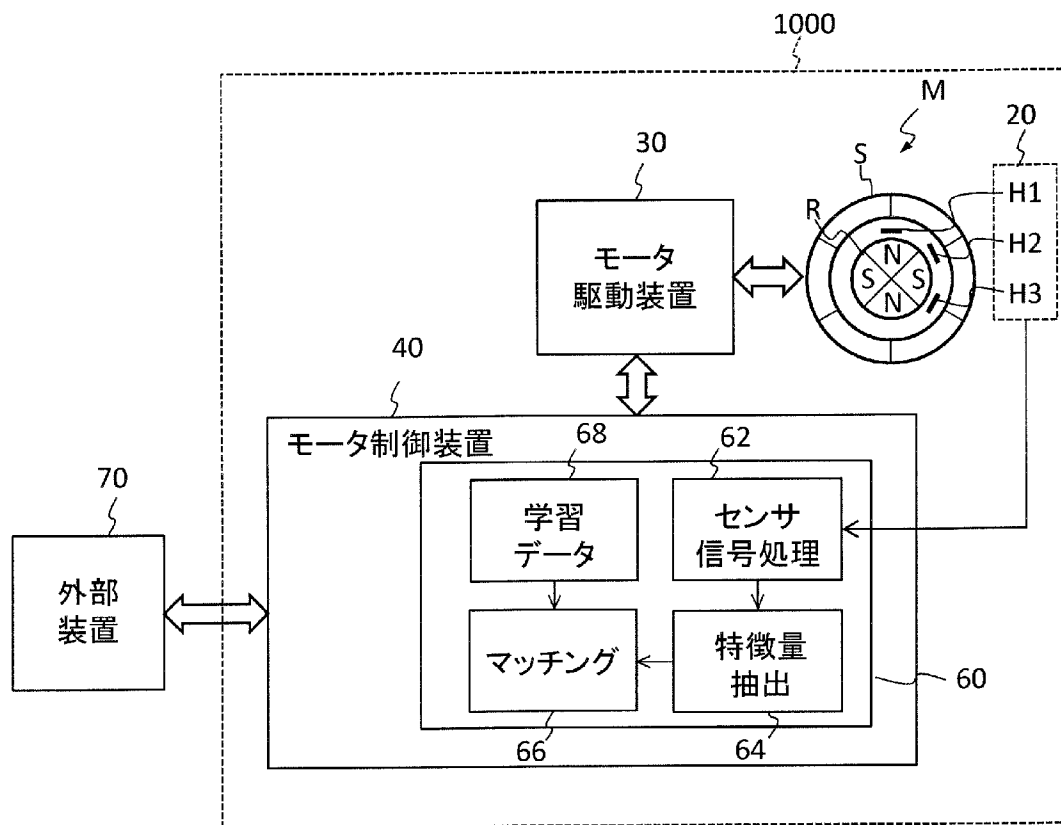
[図19B]



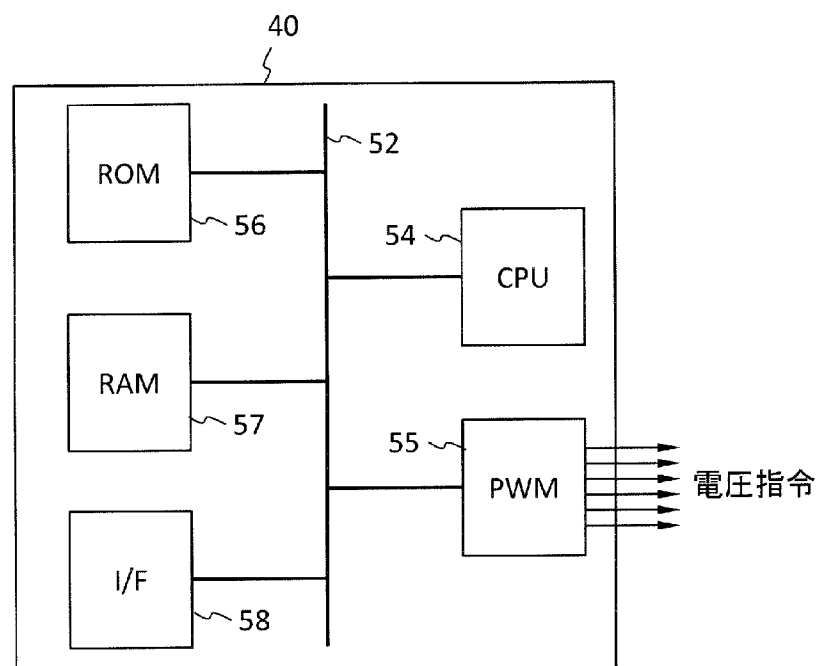
[図20]



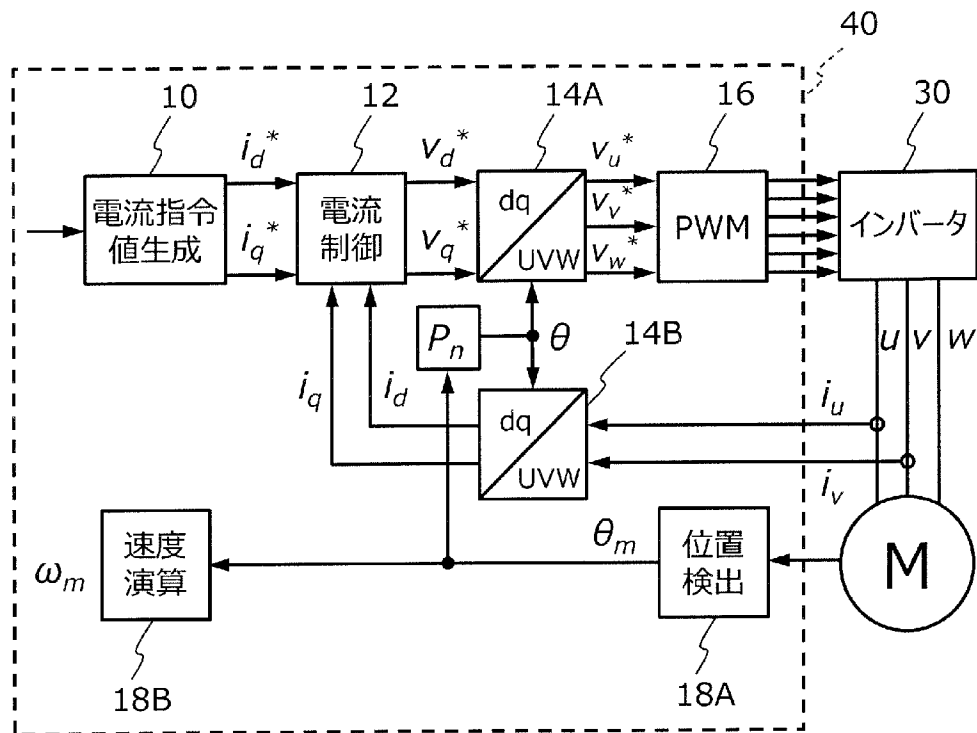
[図21]



[図22]



[図23]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/030435

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. H02P6/16(2016.01) i, H02P6/12(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, H02P6/12

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 2018-29471 A (NIDEC CORPORATION) 22 February 2018, entire text, all drawings & US 2017/0343382 A1, entire text, all drawings & US 2019/0003856 A1 & EP 3240182 A1 & EP 3393037 A1 & CN 107148741 A & KR 10-2019-0002756 A & CN 109874402 A	1-16

☒ 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

"I" 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
07 October 2019 (07.10.2019)

Date of mailing of the international search report
15 October 2019 (15.10.2019)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/030435

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2018-29470 A (NIDEC CORPORATION) 22 February 2018, entire text, all drawings & US 2017/0343382 A1, entire text, all drawings & US 2019/0003856 A1 & EP 3240182 A1 & EP 3393037 A1 & CN 107148741 A & KR 10-2019-0002756 A & CN 109874402 A	1-16
A	JP 2018-102031 A (NIDEC SANKYO CORPORATION) 28 June 2018, entire text, all drawings (Family: none)	1-16

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, H02P6/12(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, H02P6/12

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 2018-29471 A（日本電産株式会社） 2018.02.22, 全文、全図 & US 2017/0343382 A1, 全文、全図 & US 2019/0003856 A1 & EP 3240182 A1 & EP 3393037 A1 & CN 107148741 A & KR 10-2019-0002756 A & CN 109874402 A	1-16

☒ 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

07.10.2019

国際調査報告の発送日

15.10.2019

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

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）

▲桑▼原 恭雄

3 V

4484

電話番号 03-3581-1101 内線 3357

C (続き) . 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 2018-29470 A (日本電産株式会社) 2018.02.22, 全文、全図 & US 2017/0343382 A1, 全文、全図 & US 2019/0003856 A1 & EP 3240182 A1 & EP 3393037 A1 & CN 107148741 A & KR 10-2019-0002756 A & CN 109874402 A	1-16
A	JP 2018-102031 A (日本電産サンキョー株式会社) 2018.06.28, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-16