

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7097013号
(P7097013)

(45)発行日 令和4年7月7日(2022.7.7)

(24)登録日 令和4年6月29日(2022.6.29)

| | |
|-------------------------|-----------------|
| (51)国際特許分類 | F I |
| G 0 1 D 5/244(2006.01) | G 0 1 D 5/244 J |
| G 0 6 F 17/16 (2006.01) | G 0 1 D 5/244 B |
| | G 0 6 F 17/16 Z |

請求項の数 9 外国語出願 (全44頁)

| | | | |
|-------------------|-----------------------------|----------|--|
| (21)出願番号 | 特願2017-161531(P2017-161531) | (73)特許権者 | 517297924 エヌエム ヌーメリカル モデリング ゲー ーエムペーハー |
| (22)出願日 | 平成29年8月24日(2017.8.24) | | NM Numerical Modell ing GmbH |
| (65)公開番号 | 特開2018-66724(P2018-66724A) | (73)特許権者 | 517297935 マグラブ アーゲー |
| (43)公開日 | 平成30年4月26日(2018.4.26) | | スイス国 4 0 5 3 パーゼル, ギュータ ー通り 1 4 1 |
| 審査請求日 | 令和2年6月4日(2020.6.4) | (74)代理人 | 100091683 弁理士 吉 川 俊雄 |
| (31)優先権主張番号 | 01207/16 | (74)代理人 | 100179316 弁理士 市川 寛奈 |
| (32)優先日 | 平成28年9月16日(2016.9.16) | | |
| (33)優先権主張国・地域又は機関 | スイス(CH) | | |
| (31)優先権主張番号 | 17167135.7 | | |
| (32)優先日 | 平成29年4月19日(2017.4.19) | | |
| (33)優先権主張国・地域又は機関 | 欧州特許庁(EP) | | |

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 位置測定システムの位置表示器の位置を決定するための方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

位置測定システムの位置表示器の位置 を決定するための方法であって、前記位置測定システムは前記位置表示器と、各々が $j = 1 \sim r$ のセンサ信号 a_j を導出する少なくとも $r = 2$ 個のセンサ(4)とを備え、前記方法はキャリブレーション段階及び通常動作を有し、通常動作において前記位置表示器の前記位置 は、

A) 前記センサ(4)の前記センサ信号 $a_1 \sim a_r$ を検出し、信号ベクトル

$$\vec{a} = (a_1, \dots, a_r)$$

を生成するステップと、

B) 所定の線形関数 g から $2 \sim n$ の n 個の成分を有する測定ベクトル

$$\vec{q}$$

を

$$\vec{q} = g(\vec{a})$$

として生成するステップと、

C)

$$\vec{p}$$

は成分 p_1 及び p_2 を有する 2 成分ベクトルであり、 M は $2 \times n$ 行列であるベクトル
 $\vec{p} = M \cdot \vec{q}$

を計算するステップと、

D) 式 $p_1 = \cos(\quad)$ 及び $p_2 = \sin(\quad)$ に基づく関数
 $f(\vec{p}) = f(p_1, p_2)$

である所定の関数

$$f(\vec{p})$$

10

により前記位置 ϕ を

$$\phi = f(\vec{p})$$

として決定するステップと、により決定し、

前記行列 M はキャリブレーション段階において、

前記位置表示器 (2) の所定数 $k = 1 \sim m$ 3 個の位置に対する前記センサ (4) のセンサ信号 $a_{k1} \sim a_{kr}$ を検出するステップと、

m 個の信号ベクトル

$$\vec{a}_k = (a_{k1}, \dots, a_{kr})$$

20

を $k = 1 \sim m$ で前記センサ信号から生成するステップと、

$k = 1 \sim m$ の m 個の測定ベクトル

$$\vec{q}_k$$

を前記所定の関数 g により

$$\vec{q}_k = g(\vec{a}_k)$$

として生成するステップと、

行列 Q を以下の数 1 の式により生成するステップと、

30

【数 1】

$$Q = \begin{pmatrix} \vec{q}_1 \\ \vdots \\ \vec{q}_m \end{pmatrix}$$

前記行列 Q から前記行列 M を決定するステップと、により決定し、この時、変換

$$\vec{p} = M \cdot \vec{q}$$

は前記 m 個の測定ベクトル

40

$$\vec{q}_k$$

の各々を 2 成分ベクトル

$$\vec{p}_k$$

上にマッピングする線型写像であり、前記ベクトル

$$\vec{p}_k$$

の先端は実質的に円又は円弧上に位置し、

又はブートストラップ法により、

50

添字 $i = 0$ に設定し、所定の開始行列 $M(0)$ を構成するステップと、
前記通常動作の前記ステップ A 及び B により複数の測定ベクトル
 \vec{q}

を検出及び記憶するステップと、
所定の公差内の前記行列 $M(i)$ が前記行列 $M(i-1)$ と同一になり、それにより増加
する添字 i を有する前記ベクトル
 \vec{p}_k

の先端が実質的に円又は円弧上に位置するようになるまで、
前記行列 M を $M(i)$ に設定し
前記添字 i を 1 ずつ増加し、
前記記憶済み測定ベクトル
 \vec{q}

10

の前記位置 を前記通常動作の前記ステップ C 及び D により計算し、
対応する前記位置 k が所定の基準を満たす $k = 1 \sim m$ 個の前記記憶済み測定ベクトル
 \vec{q}_k

を選択するステップと、
行列 Q を前記数 1 の式により生成するステップと、
新規な行列 $M(i)$ を前記行列 Q から決定し、その時、変換
 $\vec{p} = M^{(i)} \cdot \vec{q}$

20

は前記 m 個の選択済み測定ベクトル
 \vec{q}_k

の各々を 2 成分ベクトル
 \vec{p}_k

30

上にマッピングする線型写像である、を繰返し実行するステップと、を備える方法であっ
て、

行列 Q から行列 M あるいは行列 $M(i)$ 決定する方法は、それぞれ以下のステップ；
補助行列 D から $D = Q^T \cdot Q$ を生成し、
行列 B を $B = D^{-1/2}$ により計算することにより、
 U は

$$U^T \cdot U = I$$

40

の $m \times 2$ 行列及び B は 2×2 正定値対称行列であって、式 $Q = U \cdot B$ を満たす 2 個の行列
 U 及び B を決定するステップと、

補助行列 H から $H = B^{-1}$ を生成するステップと、

以下の数 2 の式はパラメータ値 d が 1 又は -1 である補助行列として、

【数 2】

$$N = \begin{pmatrix} d & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

前記行列 M から $M = NH$ を生成するステップと、

あるいは前記行列 $M(i)$ から $M(i) = NH$ を作成するステップと、を備える方法。

50

【請求項 2】

位置測定システムの位置表示器の位置 を決定するための方法であって、前記位置測定システムは前記位置表示器と、各々が $j = 1 \sim r$ のセンサ信号 a_j を導出する少なくとも $r = 2$ 個のセンサ (4) とを備え、前記方法はキャリブレーション段階及び通常動作を有し、通常動作において前記位置表示器の前記位置 は：

A) 前記センサ (4) の前記センサ信号 $a_1 \sim a_r$ を検出し、信号ベクトル

$$\vec{a} = (a_1, \dots, a_r)$$

を生成するステップと、

B) 所定の線形関数 g から $2 \times n \times r$ の n 個の成分を有する測定ベクトル

$$\vec{q}$$

10

を

$$\vec{q} = g(\vec{a})$$

として生成するステップと、

C)

$$\vec{p}$$

は成分 p_1 及び p_2 を有する 2 成分ベクトルであり、 M は $2 \times n$ 行列であるベクトル

$$\vec{p} = M \cdot \vec{q}$$

20

を計算するステップと、

D) 式 $p_1 = \cos(\quad)$ 及び $p_2 = \sin(\quad)$ に基づく関数

$$f(\vec{p}) = f(p_1, p_2)$$

である所定の関数

$$f(\vec{p})$$

により前記位置 を

$$\phi = f(\vec{p})$$

30

として決定するステップと、により決定し、

前記行列 M はキャリブレーション段階において：

前記位置表示器 (2) の所定数 $k = 1 \sim m$ 3 個の位置に対する前記センサ (4) のセンサ信号 $a_{k1} \sim a_{kr}$ を検出するステップと、

m 個の信号ベクトル

$$\vec{a}_k = (a_{k1}, \dots, a_{kr})$$

40

を $k = 1 \sim m$ で前記センサ信号から生成するステップと、

$k = 1 \sim m$ の m 個の測定ベクトル

$$\vec{q}_k$$

を前記所定の関数 g により

$$\vec{q}_k = g(\vec{a}_k)$$

として生成するステップと、

行列 Q を以下の前記数 1 の式により生成するステップと、

【数 1】

50

$$Q = \begin{pmatrix} \vec{q}_1 \\ \vdots \\ \vec{q}_m \end{pmatrix}$$

前記行列 Q から前記行列 M を決定するステップと、により決定し、この時、変換
 $\vec{p} = M \cdot \vec{q}$

は前記 m 個の測定ベクトル

$$\vec{p}_k$$

10

の各々を 2 成分ベクトル

$$\vec{p}_k$$

上にマッピングする線型写像であり、前記ベクトル

$$\vec{p}_k$$

の先端は実質的に円又は円弧上に位置し、

又はブートストラップ法により：

添字 $i = 0$ に設定し、所定の開始行列 $M(0)$ を構成するステップと、

前記通常動作の前記ステップ A 及び B により複数の測定ベクトル

$$\vec{q}$$

20

を検出及び記憶するステップと、

所定の公差内の前記行列 $M(i)$ が前記行列 $M(i-1)$ と同一になり、それにより増加する添字 i を有する前記ベクトル

$$\vec{p}_k$$

の先端が実質的に円又は円弧上に位置するようになるまで、：

前記行列 M を $M(i)$ に設定し

前記添字 i を 1 ずつ増加し、

前記記憶済み測定ベクトル

$$\vec{q}$$

30

の前記位置 を前記通常動作の前記ステップ C 及び D により計算し、

対応する前記位置 k が所定の基準を満たす $k = 1 \sim m$ 個の前記記憶済み測定ベクトル

を選択するステップと、

行列 Q を前記数 1 の式より生成するステップと、

新規な行列 $M(i)$ を前記行列 Q から決定し、その時、変換

$$\vec{p} = M^{(i)} \cdot \vec{q}$$

40

は前記 m 個の選択済み測定ベクトル

$$\vec{q}_k$$

の各々を 2 成分ベクトル

$$\vec{p}_k$$

上にマッピングする線型写像である、を繰返し実行するステップと、を備える方法であって、

50

前記行列 M あるいは行列 $M(i)$ を決定するステップは、
式 $Q = U \cdot S \cdot V^T$ を満たし、 U は $m \times m$ 直交行列、 V^T は $n \times n$ 直交行列、 S は対角成分が大きさの降順に並替えされている $m \times n$ 正の半正定値対角行列である 3 個の行列 U 、 S 及び V^T を決定するステップと、

\bar{U}

は、第 $h + 1 \sim m$ 列を破棄することにより生成される前記行列 U の $m \times h$ 部分行列であり、

\bar{S}

10

は、第 $h + 1 \sim m$ 行及び第 $h + 1 \sim n$ 列を破棄することにより生成される前記行列 S の $h \times h$ 部分行列であり、

\bar{V}^T

は、第 $h + 1 \sim n$ 行を破棄することにより生成される前記行列 V^T の $h \times n$ 部分行列であって、

条件 $2 - h - 1$ を満たし、 $1 - \min(m, n)$ がゼロではない対角成分 S の数を規定する所定のパラメータ h に基づき部分行列

\bar{U}

20

、

\bar{S}

および

\bar{V}^T

を生成するステップと、

$n = 2$ の場合、前記部分行列

\bar{U}

30

、

\bar{S}

および

\bar{V}^T

40

の成分を用いて、以下の手順；

補助行列 W を生成するステップと、

前記測定ベクトルが任意回数で存在する場合、

$i = 1 \sim m$ として値

$$\alpha_i = \text{atan2}(U_{12}U_{i1} - U_{11}U_{i2}, U_{12}U_{i2} + U_{11}U_{i1})$$

を計算するステップと、

前記値 α_i を大きさにより並替える置換 $k(i)$ を $i = 2, \dots, m$ として $k(i) >$

$k(i - 1)$ となるよう計算するステップと、順列 $k(i)$ によって、補助行列 W の列の

50

要素は、値 i の順序に従って並べ替えられ、補助行列 W の要素 $W_{i, k(j)}$ は、前記位置表示器の前記 m 個の位置が $0 \sim 2$ までの任意の場所に分散している場合、 $j = 1 \sim m$ として以下の数 3 の式により、

【数 3】

$$W_{i,k(j)} = \begin{cases} \sin\left(\frac{2\pi(j-1)}{m}\right), & i = 1 \\ \cos\left(\frac{2\pi(j-1)}{m}\right), & i = 2 \end{cases}$$

又は

前記位置測定システムが、 $[0, 2]$ ではなく、有限間隔 $[min, max]$ の予め定まった角度範囲の角度測定システムである場合、 $j = 1 \sim m$ として以下の数 4 の式により、

【数 4】

$$W_{i,k(j)} = \begin{cases} \sin\left(\frac{(\phi_{max}-\phi_{min})(j-1)}{m}\right), & i = 1 \\ \cos\left(\frac{(\phi_{max}-\phi_{min})(j-1)}{m}\right), & i = 2 \end{cases}$$

又は

前記位置測定システムが、 $[0, 2]$ ではなく、有限間隔 $[min, max]$ の予め定まった角度範囲の角度測定システムである場合、且つパラメータ e が多極特性を特性化して前記位置表示器が多極特性を有する場合、 $j = 1 \sim m$ として以下の数 5 の式により、

【数 5】

$$W_{i,k(j)} = \begin{cases} \sin\left(e \cdot \frac{(\phi_{max}-\phi_{min})(j-1)}{m}\right), & i = 1 \\ \cos\left(e \cdot \frac{(\phi_{max}-\phi_{min})(j-1)}{m}\right), & i = 2 \end{cases}$$

前記補助行列 W の成分を生成するステップと、
又は $k = 1, \dots, m$ である前記測定ベクトル \vec{q}_k

が対応する位置 k により昇順又は降順で並替えされている場合、
前記位置表示器の前記 m 個の位置が $0 \sim 2$ までの任意の場所に分散している場合、 $j = 1 \sim m$ として以下の数 6 の式により、

【数 6】

$$W_{ij} = \begin{cases} \sin\left(f \cdot \frac{2\pi(j-1)}{m}\right), & i = 1 \\ \cos\left(f \cdot \frac{2\pi(j-1)}{m}\right), & i = 2 \end{cases}$$

又は

前記位置測定システムが、 $[0, 2]$ ではなく、有限間隔 $[min, max]$ の予め定まった角度範囲の角度測定システムである場合、 $j = 1 \sim m$ として以下の数 7 の式により、

【数 7】

10

20

30

40

50

$$W_{ij} = \begin{cases} \sin\left(f \cdot \frac{(\phi_{max} - \phi_{min})(j-1)}{m}\right), & i = 1 \\ \cos\left(f \cdot \frac{(\phi_{max} - \phi_{min})(j-1)}{m}\right), & i = 2 \end{cases}$$

又は前記位置測定システムが、 $[0, 2\pi]$ ではなく、有限間隔 $[\phi_{min}, \phi_{max}]$ の予め定まった角度範囲の角度測定システムである場合、且つパラメータ e が多極特性を特性化して前記位置表示器が多極特性を有する場合、 $j = 1 \sim m$ として以下の数 8 の式により、

【数 8】

$$W_{ij} = \begin{cases} \sin\left(f e \cdot \frac{(\phi_{max} - \phi_{min})(j-1)}{m}\right), & i = 1 \\ \cos\left(f e \cdot \frac{(\phi_{max} - \phi_{min})(j-1)}{m}\right), & i = 2 \end{cases}$$

10

昇順に対して $f = 1$ 及び降順に対して $f = -1$ となる補助数により前記補助行列 W の成分を生成するステップと

補助行列 T を

$$T = W \tilde{U}$$

20

として生成するステップと、

補助行列 H を

$$H = T \tilde{S}^{-1} \tilde{V}^T$$

として生成するステップ、

に従って補助行列 H を生成するステップを備え、

又は $n = 2$ の特別な場合に前記補助行列 H を

$$H = \tilde{S}^{-1} \tilde{V}^T$$

30

として代わりに生成するステップと、

以下の数 9 の式はパラメータ値 d が 1 又は -1 である補助行列として、

【数 9】

$$N = \begin{pmatrix} d & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

前記行列 M から $M = NH$ を生成するステップと、

あるいは前記行列 $M(i)$ から $M(i) = NH$ を作成するステップと、を備える方法。

40

【請求項 3】

請求項 1 あるいは 2 のいずれか一つに記載の方法であって、前記位置測定システムは少なくとも $r = 3$ 個のセンサを備える方法。

【請求項 4】

$f(p_1, p_2) = \text{atan2}(p_2, p_1) - \theta_0$ であり、この時 θ_0 は前記位置測定システムの零点位置を特性化する数である、請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 5】

前記関数

$$g(\vec{a})$$

50

は以下の関数、

1)

$$g(\vec{a}) = \vec{a}$$

、
2)

$$g(\vec{a}) = \vec{a} - \vec{a}_0$$

、
3)

$$g(\vec{a}) = P \cdot \vec{a}$$

10

、又は

4)

$$g(\vec{a}) = P \cdot (\vec{a} - \vec{a}_0)$$

、
のいずれか1つであって、この時、

\vec{a}_0

20

はオフセットベクトル及び射影行列Pを規定する請求項1～4のいずれか1項に記載の方法。

【請求項6】

前記位置表示器がキャリブレーション段階の間に使用できない場合は、
個数bが条件 $b \geq r - 2$ を満たす所定数の異なる外部磁場 $v = 1 \sim b - 1$ について
前記外部磁場を適用するステップと、
前記センサ信号 $a_1 \sim a_r$ を検出し、信号ベクトル
 $\vec{a} = (a_1, \dots, a_r)$

を生成するステップと、

$$g(\vec{a}) = P \cdot \vec{a}$$

30

の場合に外部磁場ベクトル

$$\vec{f}_v = \vec{a}.$$

を、又は

$$g(\vec{a}) = P \cdot (\vec{a} - \vec{a}_0)$$

40

の場合に

$$\vec{f}_v = \vec{a} - \vec{a}_0$$

を生成するステップとを、実行するステップとにより、
又は前記位置表示器を備える場合は、
定位置の前記位置表示器を移動させるステップと、
前記センサ信号 $a_1 \sim a_r$ を検出し、ベクトル
 $\vec{a}_F = (a_1, \dots, a_r)$

として記憶するステップと、

50

個数 b が条件 $b = r - 2$ を満たす所定数の異なる外部磁場 $v = 1 \sim b - 1$ について
 前記外部磁場を適用するステップと、
 前記センサ信号 $a_1 \sim a_r$ を検出し、信号ベクトル
 $\vec{a} = (a_1, \dots, a_r)$

を生成するステップと、
 外部磁場ベクトル
 $\vec{f}_v = \vec{a} - \vec{a}_F$

又は場合によってはオフセット補償済み外部磁場ベクトル
 $\vec{f}_v = \vec{a} - \vec{a}_F - \vec{a}_0$

10

を生成するステップとを実行するステップとにより、
 更に、前記位置表示器を備える場合も備えない場合も、
 $c = b$ の、前記外部磁場ベクトル
 $\vec{f}_1, \dots, \vec{f}_b$

が広がるベクトル空間の正規直交ベクトル
 $\vec{g}_1, \dots, \vec{g}_c$

20

を C 個生成するステップと、
 前記 C 個のベクトル
 $\vec{g}_1, \dots, \vec{g}_c$

を $n = r - c$ 個の異なるベクトル
 $\vec{g}_{c+1}, \dots, \vec{g}_{c+n}$

により前記信号ベクトルの r 次元ベクトル空間の完全な、正規直交基底に補数するステップと

前記射影行列 P を以下の数 1 0 の式により生成するステップとにより、

30

【数 1 0】

$$P = \begin{pmatrix} \vec{g}_{c+1} \\ \vdots \\ \vec{g}_{c+n} \end{pmatrix}$$

又は更に、
 前記外部磁場ベクトル
 $\vec{f}_1, \dots, \vec{f}_b$

40

が広がるベクトル空間の C 個のベクトル
 $\vec{g}_1, \dots, \vec{g}_c$

の正規直交基底を生成するステップと、
 $\vec{g}_i \otimes \vec{g}_i$

は前記ベクトル
 \vec{g}_i

のテンソル積として前記射影行列 P を以下の数 1 1 の式により生成するステップと、によ

50

り、

【数 1 1】

$$P = \mathbb{I} - \sum_{i=1}^c \vec{g}_i \otimes \vec{g}_i$$

前記射影行列 P をキャリブレーション段階において決定する、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

行列 C をキャリブレーション段階において

$$C = \mathbb{I} - \tilde{V} \cdot \tilde{V}^T$$

10

として生成し、

以下の数 1 2 の式で示される

$$\vec{d}$$

を生成するステップと、

【数 1 2】

$$\begin{pmatrix} d_1 \\ \vdots \\ d_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{11} & \dots & C_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ C_{n1} & \dots & C_{nn} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} q_1 \\ \vdots \\ q_n \end{pmatrix}$$

20

以下の数 1 3 の式のようにあらわされるか、あるいは以下の

i)

$$\vec{d} = \vec{0}$$

の場合、厳密に

$$v(\vec{d}) = 0$$

30

(ゼロベクトル)、

i i) 各

$$R \in \mathbb{R}$$

(実数の一群) について

$$v(R \cdot \vec{d}) = |R| \cdot v(\vec{d})$$

40

i i i) 全ベクトルについて、

$$\vec{d}_1, \vec{d}_2$$

は

$$v(\vec{d}_1 + \vec{d}_2) \leq v(\vec{d}_1) + v(\vec{d}_2)$$

の i) ~ i i i) の特性すべて、もしくは (i) 及び (i i) を備えた、確認値 v を前記

50

ベクトル

$$\vec{d}$$

から計算するステップと、

【数 1 3】

$$v = \sqrt{\frac{\sum_{l=1}^{N_s} d_l^2}{\sum_{l=1}^{N_s} q_l^2}}$$

10

前記確認値 v が所定の値を超える場合、

使用者に対してアラームで警告を発したり、再度キャリブレーションを行ったり、キャリブレーション段階の通常の動作を停止する等の所定の動作を起動するステップと、により通常動作において確認値 v を生成する、請求項 4 ~ 6 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 8】

動作を実行する際に、複数の測定ベクトル

$$\vec{q}$$

と、前記通常動作の前記ステップ C 及び D により計算した対応する位置 をキャプチャし、バッファに格納するステップと、

20

対応する位置 が所定の基準を満たす所定数のバッファ格納済み測定ベクトル

$$\vec{q}$$

を選択するステップと、

前記選択済み測定ベクトル

$$\vec{q}$$

から前記行列 Q を復元するステップと、

前記行列 Q から前記行列 M を復元するステップと、

により再キャリブレーションを実行するステップと、を更に備える請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載の方法。

30

【請求項 9】

位置測定システムの位置表示器の位置 を決定するための方法であって、前記位置測定システムは前記位置表示器と、各々が $j = 1 \sim r$ のセンサ信号 a_j を導出する r 個のセンサ (4) とを備え、前記方法はキャリブレーション段階及び通常動作を有し、通常動作において前記位置表示器の前記位置 は、

A) 前記センサ (4) の前記センサ信号 $a_1 \sim a_r$ を検出し、信号ベクトル

$$\vec{a} = (a_1, \dots, a_r)$$

を生成するステップと、

40

B)

$$\vec{a}_0$$

はオフセットベクトル及び射影行列 P を規定する (1)

$$g(\vec{a}) = P \cdot \vec{a}$$

又は (2)

$$g(\vec{a}) = P \cdot (\vec{a} - \vec{a}_0)$$

のいずれかである所定の線形関数 g から $n = 2$ 個の成分を有する測定ベクトル

50

\vec{q}
を
 $\vec{q} = g(\vec{a})$

として生成するステップと、
C) 前記位置 を所定の関数

$f(\vec{q})$

により
 $\phi = f(\vec{q})$

10

として決定するステップと、により決定し、
前記位置表示器を備えない場合は、
所定数の異なる外部磁場 $v = 1 \sim b = r - 2$ について、
前記外部磁場を適用するステップと、
前記センサ信号 $a_1 \sim a_r$ を検出し、信号ベクトル
 $\vec{a} = (a_1, \dots, a_r)$

を生成するステップと、

$g(\vec{a}) = P \cdot \vec{a}$

20

の場合に外部磁場ベクトル

$\vec{f}_v = \vec{a}$.

を、又は

$g(\vec{a}) = P \cdot (\vec{a} - \vec{a}_0)$

30

の場合に

$\vec{f}_v = \vec{a} - \vec{a}_0$

を生成するステップとを、実行するステップとにより、
又は前記位置表示器を備える場合は、
定位置の前記位置表示器を移動させるステップと、
前記センサ信号 $a_1 \sim a_r$ を検出し、ベクトル

$\vec{a}_F = (a_1, \dots, a_r)$.

として記憶するステップと、

個数 b が条件 $b = r - 2$ を満たす所定数の異なる外部磁場 $v = 1 \sim b - 1$ について

前記外部磁場を適用するステップと、

前記センサ (4) の前記センサ信号 $a_1 \sim a_r$ を検出し、信号ベクトル

$\vec{a} = (a_1, \dots, a_r)$

40

を生成するステップと、

$g(\vec{a}) = P \cdot \vec{a}$

の場合に外部磁場ベクトル

50

$$f_v = \vec{a} - \vec{a}_F$$

を、又は

$$g(\vec{a}) = P \cdot (\vec{a} - \vec{a}_0)$$

の場合に

$$\vec{f}_v = \vec{a} - \vec{a}_F - \vec{a}_0$$

を生成するステップとを実行するステップとにより、
更に、前記位置表示器を備える場合も備えない場合も、
c = b の、前記外部磁場ベクトル

10

$$\vec{f}_1, \dots, \vec{f}_b$$

が広がるベクトル空間の正規直交ベクトル

$$\vec{g}_1, \dots, \vec{g}_c$$

を C 個生成するステップと、
前記 C 個のベクトル

$$\vec{g}_1, \dots, \vec{g}_c$$

20

を 2 個の更なるベクトル

$$\vec{g}_{c+1}, \vec{g}_{c+2}$$

により前記信号ベクトルの r 次元ベクトル空間の完全な、正規直交基底に補数するステップと

前記射影行列 P を以下の数 14 の式により生成するステップとにより、

【数 14】

$$P = \begin{pmatrix} \vec{g}_{c+1} \\ \vec{g}_{c+2} \end{pmatrix}$$

30

前記射影行列 P をキャリブレーション段階において決定する、方法であって、
前記所定の関数

$$f(\vec{q})$$

=

$$f(q_1, q_2)$$

40

は、位置表示器の移動で先端が円又は円弧上に位置する一連の測定ベクトルが得られる場合、方程式

$$q_1 = \cos(\phi)$$

と

$$q_2 = \sin(\phi)$$

に基づき、

50

また位置表示器の移動で先端が楕円上に位置する一連の測定ベクトルが得られる場合には、前記所定の関数

$$f(\vec{q})$$

=

$$f(q_1, q_2)$$

は楕円のパラメータを決定すること及び前記位置 \vec{q} を前記値 q_1 及び q_2 及び前記楕円のパラメータに基づいて計算することに基づく、方法。 10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、位置測定システムの位置表示器の位置を決定をするための方法に関し、詳細には、線形位置測定システムの位置表示器又は角度測定システムの位置表示器の位置を決定するための方法に関する。

【背景技術】

【0002】

回転又は線形に移動する位置表示器の位置 \vec{q} を測定するための様々な公知のセンサシステムがあり、そこでは取得される情報が正弦波形状及び余弦波形状の可変原信号 $p_1 = \cos(\theta)$ 及び $p_2 = \sin(\theta)$ で表される。可能な実装形態としては、空間内の適切な位置にある永久磁石の誘導磁場の成分の測定等がある。検索位置は、プログラミング言語 C において公知の $\arctan 2$ 関数を用いて関数 $\theta = \arctan 2(p_2, p_1)$ 等により p_1 、 p_2 から決定される。これら必須条件のために、実施可能なセンサ素子及び位置表示器の配置がかなり制限され、特に、製造工程又はセンサチップ及び位置表示器の相対的な配置に高い精度が求められる。 20

【0003】

上記した方法の基本的な問題は、位置表示器及びセンサチップの配置が非理想的な場合に原信号の歪みが発生し、詳細には当該信号が純粋な正弦波形状及び余弦波形状を失い、位置 \vec{q} が不正確に決定されるということである。原信号品質を向上させる既存の方法に、オフセット及び振幅補正等を用いるものがある。特許文献 1 に開示の 2 個のセンサを用いるセンサ配置方法は基本として測定点を楕円として記述するものであり、特定のキャリブレーション測定を必要とするが、補正のためのパラメータを提供するが、実際には実装に相当な労力を要する。当該方法においては、測定値が十分に正確に楕円状に位置するためには、センサ配置の設計、特に永久磁石の調節を非常に慎重に行う必要がある。実回転軸が永久磁石の磁場的に定義される中央を通過しない場合、補正することにより更に角度エラーが増大するという逆効果をもたらす。 30

【0004】

位置検知システムの多くは外部磁場（例えば、永久磁石に基づく位置表示器の場合、地磁場）に反応する。そのような付加的磁場成分は対策無しでは有効な磁場と区別することはできないため、外部磁場により位置測定システムの精度が制限されることになる。 40

【0005】

位置測定システムの基本的な課題は長期間の安定性、すなわち当初は十分に正確なキャリブレーションが例えば部材間の機械的ずれや電子センサ特性のドリフトにより経時変化することである。しかしながら、現在の技術では通常動作中のシステムの測定品質を確認することは難しく、詳細には外部からの参照測定無しに内的に行うことはできない。しかしながら、耐故障性システムのためには内的な方法が非常に重要となる。更に、通常動作中の位置測定システムの再キャリブレーションは、長期間の安定性を決定的に向上させるために非常に有益である。 50

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【文献】国際公開公報2005/124286

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本発明による位置表示器の位置を決定するための方法は、センサから得られるセンサ測定値を、その次元がセンサ数に対応する測定ベクトル、すなわちベクトル空間内の点として表現できるという発見、又、位置表示器の移動（回転軸周り回転又は軸に沿った移動）中に生成される測定ベクトルは当該ベクトル空間内の軌道と呼ばれる経路上に位置するという発見に基づく。

10

【0008】

理想的条件下において、当該軌道は線型写像により円又は円弧上に投影される、すなわち位置表示器の各位置は、円又は円弧上の点に一義的に割当てられる信号ベクトルの抽象空間内の軌道上の点に対応する。例えば特に磁石を用いた場合に考えられる位置表示器の特性が非理想的な場合、センサ数が不足している場合、又は使用したキャリブレーション位置の選択が最適ではない場合等、非理想的条件下では円形から逸脱する原因となる。線型写像は行列ベクトル操作として表現することができ、線形代数の標準方法を用いて決定できる。各測定ベクトルは2成分ベクトルに投影され、その先端は円弧に近似し、この時、前記2成分ベクトルの方向は位置表示器の位置に対応する。この線型写像はキャリブレーション段階において決定され、測定ベクトルの検知、及び測定ベクトルにより生成された行列の2個又は通常3個の行列への分解を備える。センサから得られる測定値をベクトルとして表現することにより、更なる線型写像によって外部磁場、詳細には外部磁場の作用を抑制することができる。

20

【0009】

本発明による方法は普遍的に用いてもよい。センサの配置は実質的に任意である。センサは位置表示器が生成する磁場を異なる成分を検出してよい。行列の決定に用いられる測定は必須条件のうち絶対最小限のみを満たすものであってもよい。本発明の方法は、単一の参照測定のみを必要とする零点位置の決定を除いては、複数の角度参照測定を必要としないため特に有効である。キャリブレーションに必要な測定の当該最小必要条件により、とりわけ通常動作中の位置測定システムの再キャリブレーションを可能になり、又、任意の位置測定システムに対する工場ベースの初期キャリブレーションがブートストラップ法により反復的に改良される。

30

【0010】

更に、位置表示器の位置に対して重複情報が与えられる実装形態（最少数を超える単一センサが実装されているため等）においては、以下の付加的タスクのうち少なくとも1つを行う。

- エラー検知、すなわち内部的にドリフトを検出し、対応する警告又は再キャリブレーション等の所定の動作を起動する。
- 測定信号への外部磁場作用を抑制することにより外部磁場補償する。
- 位置表示器の実回転軸と理想回転軸との間のオフセットが原因のエラーを除去する。
- 位置表示器が磁石の場合、磁石の不規則性が原因のエラーを除去する。
- 3個以上のセンサが使用されている場合に信号ノイズ出現率を向上し、それにより複数の個々のセンサ値を位置決定に投入し、平均化する。詳細には、従来システムの正弦又は余弦信号のゼロ公差の際の問題を解消できる。

40

【0011】

更に、本発明の位置表示器の位置を決定するための方法は $r = 2 + b$ 個のセンサを使用し、射影行列を用いて信号ベクトルから異なる b 個の外部磁場構成の作用を投影するよう設計してもよく、この時、射影行列は先端が原則的に円又は円弧上に位置する2成分ベクト

50

ルを同時に生成する。

【 0 0 1 2 】

本明細書の一部に組み込まれ構成する添付の図面は、詳細な説明と共に本発明の実施例を少なくとも1つ示し、本発明の原理及び実装形態を説明する。記載の図は概略的であり原寸に比例しない。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 3 】

【 図 1 】 図 1 は、角度測定システムを示す。

【 図 2 】 図 2 は、線形位置測定システムを示す。

【 図 3 】 図 3 は、レゾルバを示す。

【 図 4 】 本発明による方法の一様態を示す。

【 図 5 】 本発明による方法の一様態を示す。

【 図 6 】 本発明による方法の一様態を示す。

【 図 7 】 本発明による方法の一様態を示す。

【 図 8 】 本発明による方法の一様態を示す。

【 図 9 】 本発明による方法の一様態を示す。

【 図 1 0 】 本発明による方法の一様態を示す。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 4 】

図 1 は、所定の回転軸 1 周りに回転可能な磁石 2 と、センサチップ 3 とを備える位置測定システムを示す。前記磁石 2 の回転位置は前記センサチップ 3 により決定される位置である。前記センサチップ 3 の拡大図を図 1 の右側に示す。前記センサチップ 3 は所定数 1 から r 個のセンサ 4 と、前記センサ 4 等を動作させるための電子回路とを備える。前記センサ 4 は例えばホールセンサである。当該センサ 4 は、共有出力信号を発する複数センサの一群であってもよい。前記センサチップ 3 は、前記磁石 2 が前記センサ 4 の位置で発生させる磁場を増幅する磁場コンセントレータを備えていてもよい。前記センサ 4 の個数 r は少なくとも $r = 2$ である。前記センサ 4 の各々はセンサ信号を出力する。本明細書において、前記センサ信号は $a_1 \sim a_r$ と規定する。したがって、前記センサ信号 a_j の添字 j は前記センサ 4 の個数を規定する。

【 0 0 1 5 】

図 2 は、直線軸 x に沿って相互に対して移動可能な磁石 2 及びセンサチップ 3 からなる位置測定システムを示す。前記センサチップ 3 は所定数 1 から r 個のセンサ 4 と、前記センサ 4 等を動作させるための電子回路とを備える。前記センサ 4 は例えばホールセンサである。前記磁石 2 は、前記軸 x に沿った移動中に前記センサ 4 の位置で周期的に変更する \sin 磁場を発生させる、交互に逆向きに磁化された領域から成る。前記磁石 2 の x 位置は前記センサチップ 3 により決定される位置である。この時、 $x = D / 2 \cdot$ であり、式中 D は前記磁石 2 により決定される距離である。

【 0 0 1 6 】

前記位置測定システムの前記センサ 4 は、周期的に変更する \sin 磁場の結果、高調波出力信号を生成する。図 1 に記載の前記位置測定システムは、前記回転可能な磁石 2 を位置表示器として備える角度測定システムである。図 2 に記載の前記位置測定システムは、前記移動可能な磁石 2 を位置表示器として備える直線測定システムである。両方の位置測定システムにおいて位置 の値範囲は、 0 から 360° までの角度範囲又は $0 \sim 2$ までの直線範囲に対応する $0 \sim 2$ の範囲であり、前記距離 D は全 $j = 1, \dots, r$ に対してセンサ信号 a_j は式 $a_j(x + D) = a_j(x)$ により得られる。

【 0 0 1 7 】

図 3 は、回転コイル R 及び固定子コイル S_i からなる位置測定システムを示し、この時、 $i = 1, \dots, r$ 及び $r \geq 2$ である。前記回転コイル R は回転軸周りに回転可能であり、磁場を発生させる正弦波電流が入力される。 $i = 1, \dots, r$ である固定子コイル S_i において、振幅が前記回転コイル R の回転角度 の関数として変調される電圧が磁場により生じ

10

20

30

40

50

る。復調により、回転角 θ と調和的に変化する $i = 1, \dots, r$ であるセンサ信号 $a_j(t)$ が固定子コイル信号から生成され、当該センサ信号から前記回転コイル R の即時回転角位置 $\theta(t)$ が計算できる。信号ベクトル $a_i(t)$ は $i = 1, \dots, r$ 全てに対して固定子コイル S_i の信号の包絡線から成る。

【0018】

位置測定システムは誘導的原理を基礎としていてもよく、その場合、少なくとも1個の送信コイル及び少なくとも1個の受信コイルが空間的に固定され、位置表示器は幾何学的に構成され、軸周りに回転可能な導電性ディスクである。送受信に同一コイルを用いてもよい。前記コイルは相互に対して複数の階層に配置及び/又は接続してもよい。前記位置測定システムは複数のコイルを備えていても良い。複数コイルの使用は、 360° 全回転を検出する際に特に有効である。前記位置表示器は、前記送信コイル及び前記受信コイルのインダクタンスを変更する。前記送信コイルには交流電流、好ましくは正弦波電流が入力され、それにより磁場が受信コイルにおいて、ディスク内で発生する位置依存性の渦電流により振幅が調和的に変化する誘導電圧を発生させる。復調により、本発明による方法における前記位置表示器の位置を決定するための信号が得られる。

10

【0019】

本発明による方法は光学的位置測定システムに用いてもよく、その場合、複数の光学的センサ（光トランジスタ、光ダイオード等）は、光学的にアクティブな位置表示器の位置に基づき、明度、偏光、位相シフト、飛行時間、その他の光学的特性変化を検出する。それを目的として、前記位置表示器は光線を反射又は変調し、これにより本発明の方法で使用される高調波信号を発生させる。光学的分野以外に、当該位置メータはレーダ又はテラヘルツ放射センサ、又は対応する位置表示器を備えていてもよい。更に、光波及び電磁波の代わりに、詳細には超音波である音波を用いてもよく、対応する位置測定システムを構成してもよい。

20

【0020】

本発明による方法は静電気位置測定システム用いられてもよく、その場合、位置表示器として回転可能に設けられ幾何学的に構成される電極及び固定子電極が、位置依存性の静電容量を有する複数のコンデンサを生成する。位置により変化する容量信号が生成及び検出される。静電気システムにおいて、前記位置表示器は、複数の空間的に固定される電極対の静電容量を位置と調和的に変調する誘電構造材料により実現してもよい。

30

【0021】

また、本発明による方法は有効信号と干渉信号を分離するために用いても良い。例えば、電気モータ上の磁場回転エンコーダである。この時、磁場角度センサの磁場が電気モータの回転磁場から完全に分離される。したがって、干渉無しに位置を決定することができる。これは、光学的、電磁的、電気的、磁場的、及び音響的位置決定についても同様である。

【0022】

上述した物理的原理はいずれも、回転可能に設けられる位置表示器及び線形に移動可能に設けられる位置表示器を備える位置測定システムの構成に用いてもよい。

【0023】

本発明は、前記センサチップ3の前記回転軸1又は前記直線軸xに対して実質的にいずれに位置していてもよい前記センサ4から得られる測定値から前記位置 θ を計算可能な方法に関する。本発明の方法は単純な方法であってもよく、例えば、オフセット補正及び外部磁場補正を備えない方法、又はオフセット補正を備える方法、又は外部磁場補正を備える方法、又はオフセット補正及び外部磁場補正を備える方法である。本発明の方法は、いずれの場合もキャリブレーション段階及び通常動作を備える。

40

【0024】

オフセット補正はオフセットベクトル

\vec{a}_0

により実行される。外部磁場補正は射影行列 P により実行される。オフセット補正及び外

50

部磁場補正は、前記オフセットベクトル

\vec{a}_0

及び前記射影行列 P により実行される。

【 0 0 2 5 】

必要に応じて、前記オフセットベクトル

\vec{a}_0

及び前記射影行列 P をキャリブレーション段階において決定。キャリブレーション段階において、各場合において行列 M を決定する。

10

通常動作

【 0 0 2 6 】

通常動作において、前記位置表示器の前記位置 を次のステップにより計算する。

A) センサの前記センサ信号 $a_1 \sim a_r$ を検出する。

前記センサ信号 $a_1 \sim a_r$ は、 r 次元の信号ベクトル空間における信号ベクトル

$\vec{a} = (a_1, \dots, a_r)$

として処理される r 個要素

(a_1, \dots, a_r)

20

を生成する。

B) 所定の線形関数

\vec{q}

により測定ベクトル

$\vec{q} = g(\vec{a})$

を生成する。

C) ベクトル

$\vec{p} = M \cdot \vec{q}$

30

を計算する。

$\vec{p} = (p_1, p_2)$

は成分 P_1 及び P_2 を有する 2 成分ベクトルであり、M は $2 \times n$ 行列である。

$\vec{p} = M \cdot \vec{q}$

は以下の数 1 と表してもよい。

【 0 0 2 7 】

【 数 1 】

40

$$\begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M_{11} & \dots & M_{1n} \\ M_{21} & \dots & M_{2n} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} q_1 \\ \vdots \\ q_n \end{pmatrix}$$

D) 前記ベクトル P の前記成分 P_1 及び P_2 から、所定の関数

$f(\vec{p})$

により

$\phi = f(\vec{p}) = f(p_1, p_2)$

50

として前記位置 \vec{a} を決定する。

【 0 0 2 8 】

前記線形関数

$$g(\vec{a})$$

の好ましい実施の形態は、

1) オフセット補正も外部磁場補正も実行されない場合、

$$g(\vec{a}) = \vec{a}、すなわち\vec{q} = \vec{a}$$

10

2) オフセット補正 (のみ) が実行される場合、

$$g(\vec{a}) = \vec{a} - \vec{a}_0、すなわち\vec{q} = \vec{a} - \vec{a}_0$$

3) 外部磁場補正 (のみ) が実行される場合、

$$g(\vec{a}) = P \cdot \vec{a}、すなわち\vec{q} = P \cdot \vec{a}$$

4) オフセット補正及び外部磁場補正が実行される場合、

$$g(\vec{a}) = P \cdot (\vec{a} - \vec{a}_0)、すなわち\vec{q} = P \cdot (\vec{a} - \vec{a}_0)$$

20

この時、

$$\vec{a}_0$$

はオフセットベクトル及び P に射影行列を規定する。したがって、前記測定ベクトル \vec{q}

は $2 \times n \times r$ の n 個の成分を有する。

【 0 0 2 9 】

図 4 は、前記 r 個のセンサの信号からなる前記位置表示器の位置 k と前記ベクトル

30

$$\vec{a}_k$$

との関係を示し、 $k = 1, 2 \sim m$ である。この時、角度測定システムの場合として、 $0 \sim 2\pi$ の範囲で与えられる前記位置 k は角度として表す。しかしながら、前記位置表示器の前記位置 k は直線軸に与えられてもよい。矢印は前記位置表示器の前記位置 k を表し、各位置 k に信号ベクトル

$$\vec{a}_k$$

が割当てられる。

【 0 0 3 0 】

40

図 5 は例えば $n = 3$ の線型写像

$$\vec{p} = M \cdot \vec{q}$$

を示し、この時、 n 次元ベクトル空間における軌道 5 上に位置する前記測定ベクトル \vec{q}

を 2 成分ベクトル

$$\vec{p}$$

上の前記行列 M によりマッピングし、先端は図 6 上に位置する。左側は前記測定ベクトル

50

\vec{q}
 の空間を示し、右側は前記円 6 及び前記 2 成分ベクトル
 \vec{p}

による平面を示す。一例として、
 \vec{q}_3

から
 \vec{p}_3

10

へのマッピングを矢印で示す。ベクトル
 \vec{p}_k

が各測定ベクトル
 \vec{q}_k

に割当てられる。前記ベクトル
 \vec{p}_k

20

の方向は、前記位置表示器の前記位置 k に対応する参照方向を有する角度を含む。
 温度補償

【 0 0 3 1 】

前記センサ信号は温度依存性であってもよい。温度依存性は様々な方法、例えば温度を測定し、センサ信号及びセンサオフセットを温度補償して補償してもよい。また、上記の工程を様々な温度及び適当な量で実行してもよく、詳細には前記行列 M は温度依存性行列であってもよい。この時、前記行列 M は例えば所定数の温度支持点に対して決定され、温度補償は以下のように実行される。

- 1 . 温度を検出し、支持点における行列 M から前記測定温度に対して前記行列 M を補間する。
- 2 . 前記補間行列 M を実際の測定ベクトルに適用する。

30

【 0 0 3 2 】

オフセット補償及び / 又は外部磁場補償が実行される場合、前記オフセットベクトル
 \vec{a}_0

及び場合によっては前記射影行列 P が同一の方法で温度支持点における対応するオブジェクトの補間により決定される。

【 0 0 3 3 】

当該変形例による利点は、前記方法によれば、前記位置表示器の前記センサチップに対する機械的位置に影響する温度効果及びセンサにおける温度依存効果の両方が補償できることである。

40

【 0 0 3 4 】

前記ベクトル
 \vec{p}

は、決定される前記位置 に関する完全な情報を備える。適用例の多くにおいて、前記ベクトル
 \vec{p}

及び前記位置 の関係は式 $p_1 = \cos ()$ 及び $p_2 = \sin ()$ により得られる。

50

前記所定の関数

$$f(\vec{p}) = f(p_1, p_2)$$

は前記式 $p_1 = \cos(\quad)$ 及び $p_2 = \sin(\quad)$ に基づく関数である。詳細には式 $= \arctan(p_2 / p_1)$ 及び値 p_1 及び p_2 の符号に基づき前記位置を決定する関数である。前記関数 $f(p)$ は例えば関数

$$f(\vec{p}) = \text{atan2}(p_2, p_1)$$

であり、この時、 $\text{atan2}(p_2, p_1)$ は多くのプログラミング言語において公知の $0 \sim 2\pi$ の範囲における正確な角度を求める関数である。

【0035】

キャリブレーション段階

オフセットベクトルは前記射影行列 P の決定及び前記行列 M の決定に作用し、前記射影行列 P は前記行列 M の決定に作用するため、キャリブレーション段階においては以下の手順を順守しなければならない。

1. オフセット補正が求められる場合、前記オフセットベクトル

$$\vec{a}_0$$

を決定

2. 外部磁場補正が求められる場合、前記射影行列 P を決定

3. 行列 M を決定。

上記ステップを順に詳細に説明する。

【0036】

オフセットベクトルの決定

前記オフセットベクトル

$$\vec{a}_0$$

は従来の公知な方法により決定してもよい。その際、 $j = 1 \sim r$ のセンサ

$$a_{0j}$$

の各々のオフセットが決定され、全オフセットがオフセットベクトル

$$\vec{a}_0 = (a_{01}, \dots, a_{0r})$$

として記憶される。

【0037】

信号ベクトルに属する位置が等分散されている場合、前記オフセットベクトル

$$\vec{a}_0$$

は信号ベクトルにより決定してもよい。以下により実行される。

1. 単一センサ信号の平均値

$$\vec{a}_1 \sim \vec{a}_r$$

を

$$\vec{a}_l = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m a_{kl}$$

により生成する。

2. 前記オフセットベクトル

$$\vec{a}_0 = (\vec{a}_1, \dots, \vec{a}_r)$$

10

20

30

40

50

を生成する。

【 0 0 3 8 】

前記射影行列 P の決定

軌道を生成する前記信号ベクトル

$$\vec{a} = (a_1, \dots, a_r)$$

は通常、r 個要素の r 次元ベクトル空間全体における部分空間に位置する。この時、射影行列 P を適用することにより外部磁場の作用を除外できる。好ましくは前記位置表示器を備えない場合、前記射影行列 P の決定は以下のステップで実行される。しかしながら、当該決定は前記位置表示器を備える状態で実行されてもよい。

1 . 前記位置表示器を備えない場合、ステップ 1 は所定数の異なる外部磁場 $v = 1 \sim b$ 1 に対して実行されるサブステップ 1 . 1 及び 1 . 2 を備え、この時、前記個個数 b は条件 $b \geq r - 2$ を満たす。

1 . 1 前記外部磁場を適用する。

前記外部磁場は例えば任意の空間方向を指す均一磁場である。前記外部磁場は前記位置測定システムが露出する不均一外部磁場であってもよい。前記外部磁場の作用を除去するため、センサ 4 を追加する必要がある。b 個の異なる外部磁場を除去するために必要なセンサ 4 の最少数は上記式により $r = b + 2$ である。

1 . 2 前記センサ信号 $a_1 \sim a_r$ を検出し、外部磁場ベクトル

$$\vec{f}_v = \vec{a} = (a_1, \dots, a_r)$$

又は場合によってはオフセット補償された各々で表される外部磁場ベクトル

$$\vec{f}_v = \vec{a} - \vec{a}_0$$

を生成する。

又は

1 . 前記位置表示器を備える場合、ステップ 1 はサブステップ 1 . 1 から 1 . 3 を備える。

1 . 1 前記位置表示器を定位置で移動させる。

1 . 2 前記センサ信号 $a_1 \sim a_r$ を検出し、ベクトル

$$\vec{a}_F$$

として記憶する。

1 . 3 所定数 $v = 1 \sim b - 1$ の異なる外部磁場に対して以下のステップを実行し、この時、前記個個数 b は条件 $b \geq r - 2$ を満たす。

1 . 3 . 1 前記外部磁場を適用する。

前記外部磁場は例えば任意の空間方向を指す均一磁場である。前記外部磁場は前記位置測定システムが露出する不均一外部磁場であってもよい。前記外部磁場の作用を除去するため、センサ 4 を追加する必要がある。b 個の異なる外部磁場を除去するために必要なセンサ 4 の最少数は上記式により $r = b + 2$ である。

1 . 3 . 2 前記センサ信号 $a_1 \sim a_r$ を検出し、外部磁場ベクトル

$$\vec{f}_v = \vec{a} - \vec{a}_F$$

$\vec{f}_v = \vec{a} - \vec{a}_F - \vec{a}_0$ 又は場合によってはオフセット補償された各々で表される外部磁場ベクトル

を生成する。

したがって、前記外部磁場ベクトル

$$\vec{f}_v$$

において、前記位置表示器により生成される前記センサ信号の出現は排除される。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 9 】

その後、本ステップは変形例 1 又は 2 により以下へ続く。

【 0 0 4 0 】

変形例 1 において、前記測定ベクトルのベクトル空間の次元を減少させる。変形例 1 は以下のステップを備える。

2 . 前記測定ベクトル空間の完全な正規直交基底を以下のステップにより生成する

2 . 1 前記外部磁場ベクトル

$$\vec{f}_1, \dots, \vec{f}_b$$

が広がるベクトル空間の c 個の正規直交ベクトル

$$\vec{g}_1, \dots, \vec{g}_c$$

10

を形成し、この時、 $c = b$ である。したがって、前記基底ベクトルは $i = j$ に対して

$$\vec{g}_i \cdot \vec{g}_j = 0$$

であり、 $i = 1, \dots, c$ に対して

$$\vec{g}_i \cdot \vec{g}_i = 1$$

である。

前記ベクトル

$$\vec{g}_1, \dots, \vec{g}_c$$

20

の前記正規直交基底は例えば、線形代数の標準的方法であるグラム・シュミットの正規直交化法により計算してもよく、前記外部磁場ベクトル

$$\vec{f}_1, \dots, \vec{f}_b$$

を段階的に正規直交化する。

2 . 2 前記 c 個のベクトル

$$\vec{g}_1, \dots, \vec{g}_c$$

30

を $n = r - c$ で補数し、更なるベクトル

$$\vec{g}_{c+1}, \dots, \vec{g}_{c+n}$$

を前記信号ベクトルの前記 r 次元ベクトル空間の完全な、正規直交基底に補数する。したがって、前記基底ベクトルは $i = j$ に対して

$$\vec{g}_i \cdot \vec{g}_j = 0$$

であり、 $i = 1, \dots, r$ に対して

$$\vec{g}_i \cdot \vec{g}_i = 1$$

40

である。

3 . 以下の数 2 により前記射影行列 P を生成する

【 0 0 4 1 】

【 数 2 】

$$P = \begin{pmatrix} \vec{g}_{c+1} \\ \vdots \\ \vec{g}_{c+n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} g_{c+1,1} & \dots & g_{c+1,r} \\ \vdots & & \vdots \\ g_{c+n,1} & \dots & g_{c+n,r} \end{pmatrix}$$

前記 n 個の基底ベクトル

50

$\vec{g}_{c+1}, \dots, \vec{g}_{c+n}$

は前記 $n \times r$ 行列 P の行を生成する。 P を信号ベクトル \vec{a}

に適用することにより、外部磁場ベクトルを全く含まない $k = 1, \dots, n$ の新基底 \vec{g}_{c+k}

に対する r 次元ベクトル

$$\vec{q} = P \vec{a}$$

10

が導出される。この時、前記測定ベクトルを計算する際、前記信号ベクトルのベクトル空間の次元 r は前記値 c だけ減少し、これにより前記測定ベクトルの空間は次元 $n = r - c$ を有する。

【 0 0 4 2 】

変形例 2 において、前記信号ベクトルのベクトル空間の次元に比べて、前記測定ベクトルのベクトル空間の次元は減少しない。変形例 2 は以下のステップを備える。

2 . 前記外部磁場ベクトル

$$\vec{f}_1, \dots, \vec{f}_b$$

20

が広がるベクトル空間の c 個のベクトル

$$\vec{g}_1, \dots, \vec{g}_c$$

の正規直交基底を形成し、この時、 $c = b$ である。したがって、前記基底ベクトルに対して $i = j$ の時

$$\vec{g}_i \cdot \vec{g}_j = 0$$

あり、 $i = 1, \dots, c$ の時

$$\vec{g}_i \cdot \vec{g}_i = 1$$

30

である。

前記ベクトル

$$\vec{g}_1, \dots, \vec{g}_c$$

の前記正規直交基底は例えば、線形代数の標準的方法であるグラム・シュミットの正規直交化法により計算してもよく、前記外部磁場ベクトル

$$\vec{f}_1, \dots, \vec{f}_b$$

を段階的に正規直交化する。

3 . 前記射影行列 P を以下の数 3 により生成する。

40

【 0 0 4 3 】

【 数 3 】

$$P = \mathbb{I} - \sum_{i=1}^c \vec{g}_i \otimes \vec{g}_i$$

この時、

$$\vec{g}_i \otimes \vec{g}_i$$

は前記ベクトル

50

\vec{g}_i

のテンソル積、すなわち以下の数 4 に示す $r \times r$ 行列である。

【 0 0 4 4 】

【数 4】

$$\vec{g}_i \otimes \vec{g}_i = \begin{pmatrix} g_{i1}g_{i1} & \cdots & g_{i1}g_{ir} \\ \vdots & & \vdots \\ g_{ir}g_{i1} & \cdots & g_{ir}g_{ir} \end{pmatrix}$$

前記数 3 の式を成分表示すると以下の数 5 となる。

【 0 0 4 5 】

【数 5】

$$\begin{pmatrix} P_{11} & \cdots & P_{1r} \\ \vdots & & \vdots \\ P_{r1} & \cdots & P_{rr} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & & \\ & \ddots & \\ & & 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} g_{11}g_{11} & \cdots & g_{11}g_{1r} \\ \vdots & & \vdots \\ g_{1r}g_{11} & \cdots & g_{1r}g_{1r} \end{pmatrix} - \cdots - \begin{pmatrix} g_{c1}g_{c1} & \cdots & g_{c1}g_{cr} \\ \vdots & & \vdots \\ g_{cr}g_{c1} & \cdots & g_{cr}g_{cr} \end{pmatrix}$$

前記射影行列 P を信号ベクトル

\vec{a}

に適用することにより、測定ベクトル空間の標準基底に対して r 次元ベクトル

$\vec{q} = P\vec{a}$

を導出でき、この時、前記ベクトル

\vec{q}

は外部磁場ベクトルの部分空間に直交する。前記測定ベクトル

\vec{q}

のベクトル空間の次元は前記信号ベクトル

\vec{a}

のベクトル空間の次元に等しい。したがって、前記射影行列 P は $r \times r$ 行列である。

【 0 0 4 6 】

前記行列 M の決定

前記行列 M の決定はキャリブレーション段階において実行される。これについて、以下において 2 つの方法を説明する。第 1 の方法は、キャリブレーション位置は必ず「外側から」選択され、測定範囲全体に分散されて正確な結果が得られるという条件に基づく。第 2 の方法は、出荷時に設定され、その後より良いキャリブレーション位置を反復生成するブートストラップ工程である。

【 0 0 4 7 】

方法 1

前記行列 M の決定は以下のステップで実行される。

1 . 前記位置表示器の所定数 $k = 1 \sim m$ 個の位置に対して、前記 r 個のセンサ 4 の前記センサ信号 $a_{ki} \sim a_{kj}$ を検出し、この時、 $m \geq 3$ である。

本ステップにより m 個の信号ベクトル

$\vec{a}_1, \dots, \vec{a}_m$

が導出され、この時

$\vec{a}_k = (a_{k1}, \dots, a_{kr})$

10

20

30

40

50

、 $k = 1 \sim m$ である。

2 . $k = 1 \sim m$ の m 個の測定ベクトル

$$\vec{q}_k$$

を所定の関数 g により

$$\vec{q}_k = g(\vec{a}_k)$$

として生成する。

3 . 行列 Q を以下の数 6 により生成する。

【 0 0 4 8 】

【 数 6 】

$$Q = \begin{pmatrix} \vec{q}_1 \\ \vdots \\ \vec{q}_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} q_{11} & \cdots & q_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ q_{m1} & \cdots & q_{mn} \end{pmatrix}$$

前記 m 個の測定ベクトル

$$\vec{q}_1, \dots, \vec{q}_m$$

が前記行列 Q の行を生成する。前記行列 Q は $m \times n$ 行列であり、この時、その列数 n は所定の関数に依存する。 $n \geq r$ である。上記で詳述した通り、外部磁場の作用を除去する際に $n < r$ 個への減少が実行されてもよい。

前記行列 Q から前記行列 M を決定する際、

$$\vec{p} = M \cdot \vec{q}$$

変換は前記 m 個の測定ベクトル

$$\vec{q}_k$$

を 2 成分ベクトル

$$\vec{p}_k$$

上にマッピングする線型写像であり、この時、前記ベクトル

$$\vec{p}_k$$

の先端は実質的に、円又は円弧上に位置する。「実質的に」とは真に理想的な状況を意味するが、実際には通常は概略的にのみであり、すなわちベクトル

$$\vec{p}_k$$

の先端は円を表す線の両側に分散する。したがって、当該円は内外に凹凸を有する円となる。

$$\vec{p} = M \cdot \vec{q}$$

変換は線型写像であるため、前記行列 M は線形代数による方法で決定でき、この時、前記方法は前記行列 M の 2 個又は 3 個の行列への分解を含む。前記行列 M の決定には回帰分析又はフィッティング等の統計的方法は不要である。前記行列 Q からの前記行列 M の決定は以下のステップ 4 ~ 9 を備える。

4 . 式 $Q = U \cdot S \cdot V^T$ を満たす 3 個の行列 U 、 S 及び V^T を決定し、この時、 U 及び V は直行行列であり、すなわち式

$$U^T \cdot U = I$$

10

20

30

40

50

を満たす。

$$V^T \cdot V = I$$

及び S は半正定値 m × n 対角行列である。U^T 及び V^T は各々、前記行列 U 及び V の転置行列である。

I

は単位行列を規定する。式 Q = U · S · V^T を成分表示すると以下の数 7 となる。

【 0 0 4 9 】

【数 7】

10

$$\begin{pmatrix} q_{11} & \dots & q_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ q_{m1} & \dots & q_{mn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_{11} & \dots & U_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ U_{m1} & \dots & U_{mm} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} s_1 & & 0 & \dots & 0 \\ & \ddots & \vdots & & \vdots \\ & & s_l & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} V_{11}^T & \dots & V_{1n}^T \\ \vdots & & \vdots \\ V_{n1}^T & \dots & V_{nn}^T \end{pmatrix}$$

前記行列 U は m × m 行列であり、前記行列 V は n × n 行列である。前記行列 S の対角値の値 s₁ ~ s_l、l = min(m, n) は行列の特異値と呼ばれ、すなわち j = 1, ..., l、min(m, n) の時 s_j > 0 である。(

20

$$V_{jk}^T$$

は前記転置行列 V^T の j k 成分を規定する)

前記行列 M の決定に必要なとされるのは前記対角行列 S の選択された非ゼロ成分、及び結合される前記行列 V 及び U の成分のみである。したがって前記行列 U、S 及び V を、線形代数の標準処理である特異値分解 (singular value decomposition: SVD) を用いて有利に計算でき、特異値分解は前記対角行列 S の成分を s₁ s₂ ... s_l となるよう大きさにより並替える。特異値分解により前記行列 V が導出され、転置により前記行列 M が得られる。

30

前記行列 M の決定は整数パラメータ h の関数として実行され、この時、条件 2 ≤ h ≤ l を満足す必要がある。前記パラメータ h の値が高いほど、前記行列 M の精度も上がる。

5 . 部分行列

$$\hat{U}$$

$$\hat{S}$$

および

$$\hat{V}^T$$

40

を生成し、この時、

$$\hat{U}$$

は前記 m × m 行列 U の m × h 部分行列であり、列 h + 1 ~ m を破棄することにより生成され、

$$\hat{S}$$

50

は前記 $m \times n$ 行列 S の $h \times h$ 部分行列であり、行 $h + 1 \sim m$ 及び列 $h + 1 \sim n$ を破棄することにより生成され、

$$\vec{V}^T$$

は前記 $n \times n$ 行列 V^T の $h \times n$ 部分行列であり、行 $h + 1 \sim n$ を破棄することにより生成される。

6. 2 $\times m$ 補助行列 W を生成する。

前記測定ベクトルが任意回数で存在する場合、変形例 1 により前記補助行列 W を生成する。
k = 1, ..., m の前記測定ベクトル

10

$$\vec{q}_k$$

が各々の関連付された位置 k により昇順又は降順で並替えされている場合、変形例 2 により前記補助行列 W を生成する。

変形例 1 は以下のサブステップを備える。

6. 1 $i = 1 \sim m$ に対して

$$\alpha_i = \text{atan2}(U_{12}U_{i1} - U_{11}U_{i2}, U_{12}U_{i2} + U_{11}U_{i1})$$

を計算する。

6. 2 各々の大きさにより α 値を並替える置換 $k(i)$ を $k(i) > k(i - 1)$ となるように計算する。

20

6. 3 前記補助行列 W を $j = 1 \sim m$ として以下の数 8 により生成する。

【数 8】

【数 8】

$$W_{i,k(j)} = \begin{cases} \sin(\frac{2\pi(j-1)}{m}), & i = 1 \\ \cos(\frac{2\pi(j-1)}{m}), & i = 2 \end{cases}$$

この時、 $W_{i, k(j)}$ は前記行列 M の $i, k(j)$ 成分を規定、すなわち第 $k(j)$ 列において、添字の予め決定される置換により添字 j に対するエントリが得られる。言い換

30

えると、前記行列 W の列は前記測定ベクトルの回数に応じて並替えされる。
変形例 2 は、前記関連付された位置 k により昇順に対しては $f = 1$ 、降順に対しては $f = -1$ の補助パラメータに応じて単一のステップを備える

7. 1 前記補助行列 W を $j = 1 \sim m$ として以下の数 9 により生成する。

【数 9】

【数 9】

$$W_{ij} = \begin{cases} \sin(f \cdot \frac{2\pi(j-1)}{m}), & i = 1 \\ \cos(f \cdot \frac{2\pi(j-1)}{m}), & i = 2 \end{cases}$$

40

$T = W \vec{U}$ 7. 2 $\times h$ 補助行列 W をにより計算する

前式を成分表示すると以下の数 10 となる。

【数 10】

【数 10】

$$\begin{pmatrix} T_{11} & \dots & T_{1h} \\ T_{21} & \dots & T_{2h} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} W_{11} & \dots & W_{1m} \\ W_{21} & \dots & W_{2m} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} U_{11} & \dots & U_{1h} \\ \vdots & & \vdots \\ U_{m1} & \dots & U_{mh} \end{pmatrix}$$

50

8. 2 × h 補助行列 H を生成する

前記補助行列 H を

$$H = T \tilde{S}^{-1} \tilde{V}^T$$

により前記補助行列 T 及び前記部分行列

$$\tilde{S}$$

及び

$$\tilde{V}^T$$

から生成する。前式を成分表示すると以下の数 1 1 となる。

【 0 0 5 3 】

【 数 1 1 】

$$\begin{pmatrix} H_{11} & \dots & H_{1n} \\ H_{21} & \dots & H_{2n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_{11} & \dots & T_{1h} \\ T_{21} & \dots & T_{2h} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \frac{1}{s_1} & & \\ & \ddots & \\ & & \frac{1}{s_h} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} V_{11}^T & \dots & V_{1n}^T \\ \vdots & & \vdots \\ V_{h1}^T & \dots & V_{hn}^T \end{pmatrix}$$

9. 前記行列 M を生成する

前記補助行列 H の計算においては、全例で必要のない所定の単一のステップを除いて、前記行列 M を生成する全ステップが実行される。本ステップは移動方向の決定又は照合に係るものである。角度センサにおいては、移動方向は回転感覚に対応する。なお、通常動作において、2 個の測定位置 1 及び 2 の差分の絶対値

$$|\phi_1 - \phi_2|$$

のみが重要な場合、M = H である。

通常動作において、同様に移動方向、すなわち差分 1 - 2 の符号が重要な場合、M = NH であり、この時、以下の数 1 2 は補助行列であり、そのパラメータ d の値は d = 1 又は d = - 1 となる。

【 0 0 5 4 】

【 数 1 2 】

$$N = \begin{pmatrix} d & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

前記測定ベクトルを位置の昇順又は降順で並替えされている場合、それぞれ d = 1 又は N = I (I は単位行列を表す)

であり、したがって M = H である。その結果、正確な移動方向が得られるが、それは位置の昇順及び降順の差がパラメータ f による前記補助行列 W の計算に入力されるからである。したがって、前記補助行列 W は移動方向に関する情報を含む。

前記測定ベクトルを位置の昇順又は降順で並替えず、任意回数で与える場合、移動方向はサブステップ 9. 1 ~ 9. 4 による測定により決定してもよい。

9. 1 前記位置表示器を第 1 の所定の設定位置 1 に配置し、センサ信号を検出し対応する測定ベクトルを生成し、対応する実位置 1 を計算し、前記位置表示器を第 2 の所定の設定位置 2 に配置し、センサ信号を検出して対応する測定ベクトルを生成し、対応する実位置 2 を計算し、この時、各計算は前記行列 M = H を用いて通常動作のステップ C 及び D により実行される。

9. 2 差分 1 - 2 を計算する

9. 3 差分 1 - 2 を計算する

9. 4 差分 1 - 2 の符号が差分 1 - 2 の符号と一致する場合、パラメータ d =

10

20

30

40

50

+ 1 を設定し、不一致の場合 $d = - 1$ とする。

補助行列 N は前記単位行列

⋮

であってもよい。形式上、前記行列 M の生成は常に $M = NH$ と記載してもよい。移動方向又はそれを特性付けるパラメータ d は、常にサブステップ 9.1 ~ 9.4 による測定で決定してもよい。前記補助行列 N は移動方向をそのままにするか、又は反転させる。

【 0 0 5 5 】

特別例

上述の方法は以下の特別例のように微細な変更を加えて用いてもよい。

10

1. 所定の角度範囲を対象とした角度測定システム

位置は $[0, 2]$ の代わりに有限区間 $[\min, \max]$ 内に位置する。

(線形位置メータにおいては、全期間距離 D の一部のみを使用することに相当)。

測定ベクトルが整列されていない場合、前記補助行列 W の成分を $j = 1 \sim m$ として以下の数 13 により計算する。

【 0 0 5 6 】

【数 13】

$$W_{i,k(j)} = \begin{cases} \sin\left(\frac{(\phi_{max}-\phi_{min})(j-1)}{m}\right), & i = 1 \\ \cos\left(\frac{(\phi_{max}-\phi_{min})(j-1)}{m}\right), & i = 2 \end{cases}$$

20

この時、 \min 及び \max は使用する角度範囲の下限又は上限を表し、 $k(j)$ は置換を表し、それにより前記測定ベクトル

\vec{q}_j

を各自の位置により昇順又は降順で整列させ、

測定ベクトルが整列されている場合、昇順に対しては $f = 1$ 、降順に対しては $f = - 1$ となる補助数に応じて $j = 1 \sim m$ として以下の数 14 により計算する

【 0 0 5 7 】

【数 14】

$$W_{ij} = \begin{cases} \sin\left(f \cdot \frac{(\phi_{max}-\phi_{min})(j-1)}{m}\right), & i = 1 \\ \cos\left(f \cdot \frac{(\phi_{max}-\phi_{min})(j-1)}{m}\right), & i = 2 \end{cases}$$

30

2. 多極特性を有する位置表示器を備える角度測定システム

位置センサは、詳細には前記位置表示器が磁石である場合やコイルを有する場合、多極特性を有していてもよい。磁石又はコイルの多極特性は、前記位置表示器が全回転する間の磁界分布の反復数を示すパラメータ e により特性付けられる。双極磁場を有する磁石の場合 $e = 1$ であり、四極磁場の場合 $e = 2$ である。

測定ベクトルが整列されている場合、前記補助行列 W の成分は、昇順に対しては $f = 1$ 、降順に対しては $f = - 1$ となる補助数の関数として $j = 1 \sim m$ として以下の数 15 により計算し、

40

【 0 0 5 8 】

【数 15】

$$W_{ij} = \begin{cases} \sin\left(f e \cdot \frac{(\phi_{max}-\phi_{min})(j-1)}{m}\right), & i = 1 \\ \cos\left(f e \cdot \frac{(\phi_{max}-\phi_{min})(j-1)}{m}\right), & i = 2 \end{cases}$$

整列されていない測定ベクトルの場合、 $j = 1 \sim m$ として以下の数 16 により計算し、

【 0 0 5 9 】

50

【数 1 6】

$$W_{i,k(j)} = \begin{cases} \sin\left(e \cdot \frac{(\phi_{max} - \phi_{min})(j-1)}{m}\right), & i = 1 \\ \cos\left(e \cdot \frac{(\phi_{max} - \phi_{min})(j-1)}{m}\right), & i = 2 \end{cases}$$

この時、前記 2 成分ベクトル

\vec{p}

からの前記位置 の計算は以下の数 1 7 により実行される。

【 0 0 6 0】

【数 1 7】

$$\phi = \frac{f(\vec{p})}{e} = \frac{f(p_1, p_2)}{e}$$

【 0 0 6 1】

n = 2 の場合の前記行列 M の決定

n = 2 の場合の前記行列 M の決定は、上述した前記ステップ 1 - 9 を備える一般的方法、又は以下の簡易な 2 つの方法である異なる 3 つの方法のいずれかで行っても良い。

【 0 0 6 2】

方法 1 は以下を備える。

一般的方法の前記ステップ 1 ~ 5、

補助行列 H を

$$H = \hat{S}^{-1} \hat{V}^T$$

として生成し、

変形例 1 又は変形例 2 により前記行列 M を生成する。

変形例 1

通常動作において、2 個の測定位置 1 及び 2 の差分の絶対値

$$|\phi_1 - \phi_2|$$

のみが重要な場合、M = H である。

変形例 2

通常動作において、同様に移動方向、すなわち差分 - 2 の符号が重要な場合、M = N H である。

前記測定ベクトルが位置の昇順又は降順で並替えされている場合、パラメータ d を昇順に対しては f = 1、降順に対しては f = - 1 となる補助数を用いて、前記行列 U から以下の数 1 8 の選択成分から計算してもよい。

【 0 0 6 3】

【数 1 8】

$$d = f \cdot \frac{U_{12}U_{21} - U_{11}U_{22}}{|U_{12}U_{21} - U_{11}U_{22}|}$$

前記測定ベクトルが位置の昇順又は降順で並替えされておらず任意次数となっている場合、パラメータ d は上述したサブステップ 9 . 1 ~ 9 . 4 による測定により決定してもよい。

【 0 0 6 4】

方法 1 においては、前記補助行列 W 及び T を決定する必要が無い。

【 0 0 6 5】

方法 2 は、前記ステップ 1 ~ 3 を備える一般的方法である。本方法は m × 2 行列 Q を導出する。一般的方法の前記ステップ 4 ~ 8 を以下の 2 つのステップ 4 及び 5 に置き換える。

4 . 式 Q = U · B を満たす 2 つの行列 U 及び B を決定し、この時、U は

10

20

30

40

50

$$U^T \cdot U = \mathbb{I}$$

の $m \times 2$ 行列であり、 B は正定値対称 2×2 行列である。式 $Q = U \cdot B$ を成分表示すると以下の数 19 となる。

【 0 0 6 6 】

【 数 1 9 】

$$\begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} \\ \vdots & \vdots \\ q_{m1} & q_{m2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_{11} & U_{12} \\ \vdots & \vdots \\ U_{m1} & U_{m2} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{pmatrix}$$

10

前記行列 B は以下のサブステップにより計算してもよい。

4 . 1 正定値対称 2×2 補助行列 $D \sim D = Q^T \cdot Q$ を生成する、

4 . 2 $B = D^{-1/2}$ により前記行列 M を平方根として計算する。線形代数において、行列の平方根を計算する処理は標準的である。

その結果前記行列 U は $U = Q \cdot B^{-1}$ となり、この時、移動方向の計算のためではあるが前記行列 M は必須である。

5 . $H = B^{-1}$ により補助行列 H を生成する。

【 0 0 6 7 】

次に、測定ベクトルが各自の位置により昇順又は降順で配置されている場合、以下に説明する変更を加えて前記一般的方法のステップ 9 を行う。本方法は前記補助行列 W を計算しないため、正確な移動方向は自動的に入力されない。しかしながら、昇順に対しては $f = 1$ 、降順に対しては $f = -1$ となる補助数を用いて前記行列 U から以下の数 20 の選択成分から計算してもよい。

20

【 0 0 6 8 】

【 数 2 0 】

$$d = f \cdot \frac{U_{12}U_{21} - U_{11}U_{22}}{|U_{12}U_{21} - U_{11}U_{22}|}$$

【 0 0 6 9 】

30

絶対位置

通常動作において絶対位置も決定する場合、例えば以下のステップによる零点位置の決定が必要となる。

- 前記位置表示器を零点位置に配置する
- 通常動作の前記ステップ A ~ D により前記位置 ϕ_0 を決定する
- 関数

$$f(\vec{p})$$

を

$$f(\vec{p}) = f(\vec{p}) - \phi_0$$

40

に変更する。

【 0 0 7 0 】

図 6 ~ 図 8 は、上述の方法のステップを示す。図 6 ~ 図 8 の左側及び以下に説明する図 9 及び図 10 において、前記位置測定システムは象徴的に表現されている。以下に詳細に説明する。

【 0 0 7 1 】

図 6 は前記位置測定システムの通常動作を示す。前記位置表示器は位置 ϕ_0 に位置し、前記センサ 4 において前記センサ信号 a_1, \dots, a_r を発生させる。前記信号は前記オフセットベクトル

50

\vec{a}_0

及び前記射影行列 P (それぞれ任意) により補償された外部磁場によりオフセット補償され、前記測定ベクトル

\vec{q}

が導出される。次に、前記 2 成分ベクトル

\vec{p}

を前記行列 M を前記測定ベクトル

\vec{q}

10

で乗算して計算する。最後に、

\vec{p}

の成分から、 $\theta = \arctan 2(p_2, a_r)$ 又は他の関数により前記位置 θ を計算する。

【0072】

図 7 は、キャリブレーション段階における前記射影行列 P の決定を示す。それを目的として、前記位置測定システムに b 個の外部磁場を適用し、外部磁場に対して前記信号ベクトルを $j = 1, \dots, b$ の

20

$\vec{a}_j = (a_{j1}, \dots, a_{jr})$

として導出する。任意で、前記信号ベクトル

\vec{a}_j

から、オフセット補償外部磁場ベクトル

\vec{f}_j

が生成される。これにより、例えばグラム・シュミット法 GS により、前記外部磁場ベクトルが広がる部分空間の前記正規直交基底

30

$\vec{g}_1, \dots, \vec{g}_c$

を生成する。

【0073】

前記射影行列 P は前記基底ベクトル

\vec{g}_j

から計算するが、これは基底ベクトルからテンソル積として得られる前記行列

$\vec{g}_j \otimes \vec{g}_j$

40

は単位行列から減算するためである。

【0074】

図 8 は、キャリブレーション段階における前記行列 M の決定を示す。それを目的として、 $k = 1, \dots, m$ の前記信号ベクトル

$\vec{a}_k = (a_{k1}, \dots, a_{kr})$

を前記オフセットベクトル

\vec{a}_0

及び前記射影行列 P (それぞれ任意) で補償する。生成された測定ベクトル

50

\vec{q}_k
 は前記行列 Q の行を成す。次に前記行列 Q を 3 つの行列

\hat{U}

\hat{S}

および

\hat{V}^T

10

に分解する。前記所定のパラメータ h に応じて、U、V 及び S から前記部分行列

\hat{U}

\hat{V}^T

及び

\hat{S}

20

を決定する。その後、前記行列 M を前記補助行列 T 及び N により計算する。それを目的として、前記行列

$$T = WU$$

を前記補助行列 W 及び

\hat{U}

から生成する。

【 0 0 7 5 】

方法 2 : ブートストラップ法

30

前記行列 M の決定はブートストラップ法で行ってもよい。前記ブートストラップ工程は、製造業者側での初期化、委託段階における測定データの取得、及び前記行列 M の精度向上のための反復処理を含む。

【 0 0 7 6 】

前記ブートストラップ法は以下のステップを備える。

1 . 添字 $i = 0$ を設定し、所定の初期行列 $M(0)$ を構成する。

前記初期行列 $M(0)$ は製造業者側での前記行列 $M = M(0)$ の初期化であり、そのため不正確である可能性もあり、位置計算は前記位置測定システムにより実行してもよい。

2 . 通常動作の前記ステップ A 及び B により複数の測定ベクトル

\vec{q}

40

を検出及び記憶する。

3 . 以下のステップを繰返し実行して行列 $M(i)$ ($i > 0$) を反復決定する。

3 . 1 . 前記行列 M を $M(i)$ に設定する

3 . 2 . 添字 i を 1 ずつ増加する

3 . 3 . 前記記憶済み測定ベクトル

\vec{q}

の前記位置 を通常動作の前記ステップ C 及び D により計算する

3 . 4 . 対応する位置 k が所定の基準を満たす前記記憶済み測定ベクトル

50

\vec{q}_k を $k = 1 \sim m$ 個選択する

3.5. 以下の数 2 1 により行列 Q を生成する

【 0 0 7 7 】

【 数 2 1 】

$$Q = \begin{pmatrix} \vec{q}_1 \\ \vdots \\ \vec{q}_m \end{pmatrix}$$

10

3.6. 前記行列 Q から新規な行列 M (i) を決定するが、この時、

$$\vec{p} = M \cdot \vec{q}$$

変換は線型写像であり、m 個の選択済み測定ベクトル

 \vec{q}_k

の各々を所定の公差内の前記行列 M (i) が前の反復の行列 M (i - 1) と同一になるまで 2 成分ベクトル

 \vec{p}_k

20

にマッピングし、この時、増加する添字 i を有する前記ベクトル

 \vec{p}_k の先端は実質的に円 6 又は円弧上に位置するようになる。これにより、ブートストラップ工程 ($M = M (i)$) 又は $M = M (i - 1)$) は終了する。

次に、上述したように零点位置の設定又はキャリブレーションが行われる。

【 0 0 7 8 】

各ステップにおいて、中間に記憶される測定ベクトル

 \vec{q}

30

のより正確な位置 が決定されるため、個々の反復により改良行列 M (i) が適応的に得られ、これにより前記行列 Q をより適切な測定ベクトル

 \vec{q}

から前記所定の基準で生成し、これにより正確な行列 M が得られる。望ましい回転感覚は開始行列 M に既に備えられており、反復の最中に変化はしない。

【 0 0 7 9 】

再キャリブレーション

本発明の方法は通常動作中の再キャリブレーションも可能であり、2 つのステップにより実行される (また、ブートストラップ工程に類似) 。

40

1. 通常動作の前記ステップ A ~ D をサブステップと共に用いて、再キャリブレーションにおける測定結果をキャプチャする。

1.1 前記ステップ A 及び B により複数の測定について測定ベクトル

 \vec{q}

をキャプチャし、バッファに格納する

1.2 前記ステップ C 及び D により対応する位置 を計算し、バッファ格納済み全測定ベクトル

 \vec{q}

50

に対する位置 ϕ_k をバッファに格納する。

2. 再キャリブレーション自体は以下のステップ 2.1 ~ 2.4 で行われる

2.1 対応する位置 ϕ_k が所定の基準を満たすバッファ格納済み測定ベクトル

\vec{q}_k

を m 個選択する

2.2 前記選択済み測定ベクトル

\vec{q}_k

から前記行列 Q を復元する。

2.3 前記行列 Q から前記行列 M を復元する。

2.4 場合によっては、零点位置を再決定する。

【0080】

前記所定の基準は好ましくは以下の基準を 1 つ以上備える。

- 前記位置 ϕ_k が 0 ~ 2π までの全範囲に渡って分散する
- 前記位置 ϕ_k が所定の公差基準内で均等に分散する
- 前記測定ベクトル

\vec{q}_k

が前記位置 ϕ_k の昇順又は降順で並替えされている

【0081】

前記位置 ϕ_k が等分散していない場合、多数の測定ベクトルによりキャリブレーションが向上する。

【0082】

任意の公差基準内の均一な分散は、前記選択済み測定ベクトル

\vec{q}_k

の $k = 1 \sim m$ 個の位置 ϕ_k が規定した公差 $\Delta\phi$ までの範囲で

$$\frac{(k-1) \cdot 2\pi}{m}$$

の値に対応することを意味し、すなわち以下の数式となる。

【0083】

【数式 2】

$$\left| \phi_k - \frac{(k-1) \cdot 2\pi}{m} \right| < \Delta\phi$$

【0084】

妥当性の確認

前記回転軸 1 又は前記軸 x の位置に対する前記センサチップ 3 の位置は時間と共に変化する可能性がある。これを検知するため、本発明の方は測定ベクトルのベクトル空間の次元 n が $n > 2$ の場合に妥当性の確認を更に行っても良い。本発明の方法は更に、キャリブレーション段階で決定され、通常動作において妥当性の確認に使用される $n \times n$ 行列 C を必要とする。

【0085】

したがって、キャリブレーション段階は以下のステップを更に備える。

$$C = I - \hat{V} \cdot \hat{V}^T$$

により前記部分行列

\hat{V}

10

20

30

40

50

から前記行列 C を生成する。

前式を成分表示すると以下の数 2 3 となる。

【 0 0 8 6 】

【数 2 3】

$$\begin{pmatrix} C_{11} & \dots & C_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ C_{n1} & \dots & C_{nn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & & \\ & \ddots & \\ & & 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} V_{11} & \dots & V_{1h} \\ \vdots & & \vdots \\ V_{n1} & \dots & V_{nh} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} V_{11}^\top & \dots & V_{1n}^\top \\ \vdots & & \vdots \\ V_{h1}^\top & \dots & V_{hn}^\top \end{pmatrix}$$

【 0 0 8 7 】

10

通常動作以下のステップ E を更に備える。

E) サブステップ = 1 ~ E . 3 により確認値を計算する。

E . 1 ベクトル

\vec{d}

から

$$\vec{d} = C \vec{q}$$

を計算する。

前式を成分表示すると以下の数 2 4 となる。

20

【 0 0 8 8 】

【数 2 4】

$$\begin{pmatrix} d_1 \\ \vdots \\ d_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{11} & \dots & C_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ C_{n1} & \dots & C_{nn} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} q_1 \\ \vdots \\ q_n \end{pmatrix}$$

E . 2 前記ベクトル

\vec{d}

30

から確認値 v を計算する

前記確認値は例えば数値 v (以下の数 2 5) であってもよい。

【 0 0 8 9 】

【数 2 5】

$$v = \sqrt{\frac{\sum_{l=1}^{N_s} d_l^2}{\sum_{l=1}^{N_s} q_l^2}}$$

前記確認値は、詳細にはベクトルノルムの特性を有する他の数値であってもよい。ベクトルノルムは通常、以下の特性を有する。

40

(i)

$$\vec{d} = \vec{0}$$

の場合、厳密に

$$v(\vec{d}) = 0$$

(ゼロベクトル)、

(i i) 各

$R \in \mathbb{R}$

50

(実数の一群)について

$$v(R \cdot \vec{d}) = |R| \cdot v(\vec{d})$$

(i i i) 全ベクトルについて、

$$\vec{d}_1, \vec{d}_2$$

は

$$v(\vec{d}_1 + \vec{d}_2) \leq v(\vec{d}_1) + v(\vec{d}_2)$$

前記確認値は、当該ベクトルノルムの特性 (i) 及び (i i) のみを満たす数値であつてもよい。

10

E . 3 前記確認値 v 所定の値を超える場合、所定の動作を起動する。

【 0 0 9 0 】

図 9 は、キャリブレーション段階における前記行列 C の決定を示す。当該計算は、前記行列 M の決定同様に 3 個の行列

$$\vec{U}$$

$$\vec{S}$$

20

および

$$\vec{V}^T$$

が決定されるまで続けられる。次に、前記行列 C が計算され、これにより自身の転置

$$\vec{V}^T$$

を有する前記行列 V の前記部分行列

$$\vec{V}$$

の積が単位行列から減算される。

30

【 0 0 9 1 】

図 1 0 は、妥当性の確認を示す。当該確認は通常動作において実行される。当該計算は、位置の計算 (図 6) 同様に

$$\vec{q}$$

が決定されるまで続けられる。妥当性の確認のために、n 成分のベクトル

$$\vec{d}$$

が前記行列 C により前記測定ベクトル

$$\vec{q}$$

40

から計算され、それにより最終的に前記確認値 v が計算される。

【 0 0 9 2 】

n = 2 及び > n である特別な場合の位置決定及び外部磁場抑制

回転又は線形に移動する位置表示器の前記位置 の決定において、前記射影行列 P が次元 r の前記信号ベクトルを次元 n = 2 の測定ベクトルにマッピングする際に用いる外部磁場補償、及び従来の方法による測定ベクトル

$$\vec{q}$$

の成分 q 1 及び q 2 からの前記位置 の計算を行つてもよい。前記射影行列 P は、キャリ

50

ブレーション段階において上述した変形例 1 の値 $b = r - 2$ 及び $c = b$ を用いて決定される。

【 0 0 9 3 】

通常動作において、前記位置 は以下のように決定される。

A) 前記センサ (4) の前記センサ信号 $a_1 \sim a_r$ を検出し、信号ベクトル

$$\vec{a} = (a_1, \dots, a_r)$$

を生成する。

B)

$$\vec{q} = g(\vec{a})$$

10

により測定ベクトル

$$\vec{q}$$

を生成するが、この時

外部磁場補正 (のみ) が実行された場合、

$$g(\vec{a}) = P \cdot \vec{a}$$

であり、又は

オフセット及び外部磁場補正が実行された場合、

$$g(\vec{a}) = P \cdot (\vec{a} - \vec{a}_0)$$

20

である。

前記ベクトル

$$\vec{q}$$

は前記成分 q_1 及び q_2 を有する 2 成分ベクトルである。当該特別な場合においては前記行列 M は単位行列であるため、ここでは

$$\vec{p} = M \cdot \vec{q}$$

30

により前記ベクトル

$$\vec{p}$$

を計算することにより

$$\vec{p} = \vec{q}$$

と簡約できる。

前記位置表示器の移動により、先端が円又は円弧上に位置する一連の測定ベクトルが得られる場合、以下のステップに進む。

C) 前記位置 を、前記ベクトル

$$\vec{p}$$

40

の前記成分 p_1 及び p_2 から所定の関数

$$f(\vec{p})$$

を用いて

$$\phi = f(\vec{p}) = f(p_1, p_2)$$

と決定し、この時、前記所定の関数

$$f(\vec{q}) = f(q_1, q_2)$$

50

は式 $q_1 = \cos(\quad)$ 及び $q_2 = \sin(\quad)$ に基づく。

記位置表示器の移動により、先端が楕円上に位置する一連の測定ベクトルが得られる場合、キャリブレーション段階において前記射影行列 P の決定後に楕円のパラメータが決定されるよう補足する必要がある、これによりその後、前記位置 \vec{q} が前記値 q_1 及び q_2 及び前記楕円のパラメータに基づいて計算される。前記測定ベクトル

\vec{q}

の前記測定値対 q_1 及び q_2 はキャリブレーション段階及び通常動作において処理してもよく、その際、前記値 q_1 及び q_2 が当該方法において $i = 1, \dots, N$ の測定値対 (x_i, y_i) と規定される測定値に対応する特許文献 1 に記載の方法や、その他の実質的に正

10

弦波又は余弦波状の測定信号を用いる公知の方法により処理してもよい。すなわち、関数

を決定して前記位置 \vec{q} から

$\phi = f(\vec{q})$

を導出してもよい。

【0094】

本方法によれば外部磁場の検知と位置決定が分離可能となり、センサを非常に正確に配置したり、センサ感度を調節する必要が無く、また位置決定のためのセンサ及び外部磁場の決定のためのセンサにおいて分離の必要が無い。

20

【0095】

本発明の実施例及び適用例を提示及び説明したが、当該開示の恩恵を受ける当業者にとって、本明細書における本発明の精神から逸脱せずに上述したもの以外にも多数の変更が可能であることは自明である。したがって本発明は、添付した請求項の精神及びその等価物にのみ限定を受けるものとする。

30

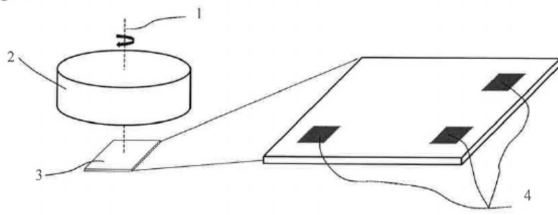
40

50

【図面】

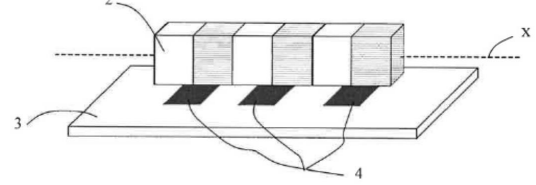
【図 1】

Fig. 1



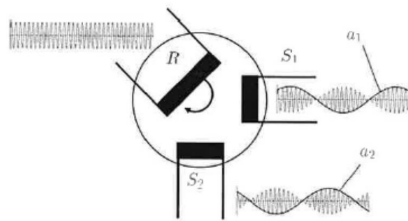
【図 2】

Fig. 2



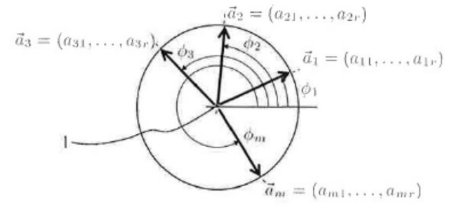
【図 3】

Fig. 3



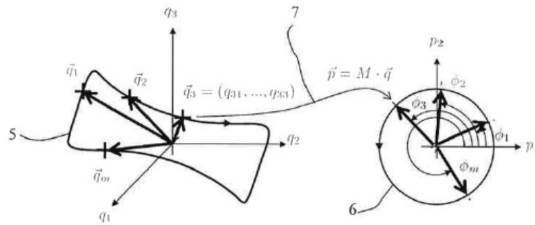
【図 4】

Fig. 4



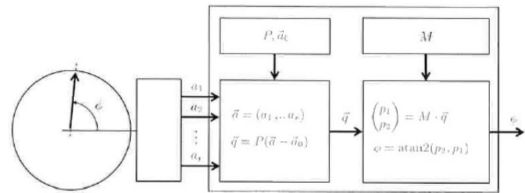
【図 5】

Fig. 5



【図 6】

Fig. 6



10

20

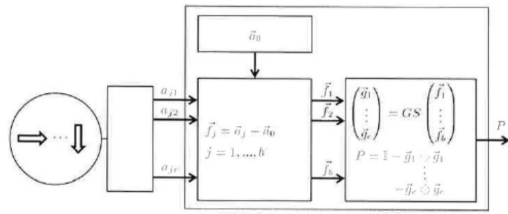
30

40

50

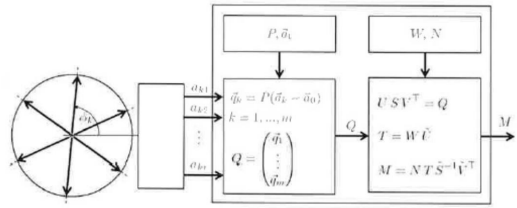
【 図 7 】

Fig. 7



【 図 8 】

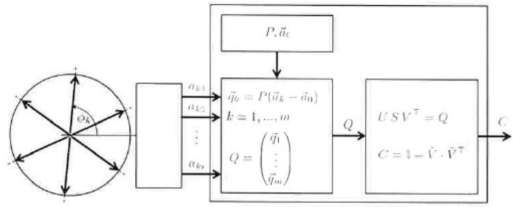
Fig. 8



10

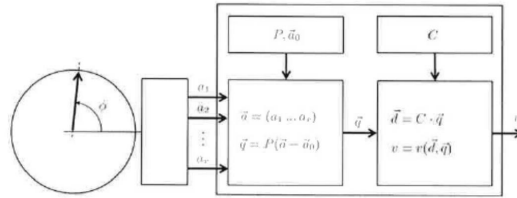
【 図 9 】

Fig. 9



【 図 10 】

Fig. 10



20

30

40

50

フロントページの続き

(72)発明者 ルース, マルクス
スイス国 6340 バール, オーバードルフ通り 34

審査官 菅藤 政明

(56)参考文献 特開2016-53547(JP, A)
特開2017-151061(JP, A)
特表2018-503096(JP, A)
特開2011-75404(JP, A)
米国特許出願公開第2007/0174015(US, A1)
米国特許出願公開第2015/0048242(US, A1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G01D 5/00 - 5/252
G01D 5/39 - 5/62
G06F 17/16