

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号  
特許第6626175号  
(P6626175)

(45) 発行日 令和1年12月25日(2019.12.25)

(24) 登録日 令和1年12月6日(2019.12.6)

(51) Int.Cl.

F I

GO 1 B 17/00 (2006.01)

GO 1 B 17/00 B

GO 1 S 5/30 (2006.01)

GO 1 S 5/30

請求項の数 5 (全 15 頁)

|                    |                                     |           |                            |
|--------------------|-------------------------------------|-----------|----------------------------|
| (21) 出願番号          | 特願2018-187695 (P2018-187695)        | (73) 特許権者 | 000003078                  |
| (22) 出願日           | 平成30年10月2日 (2018.10.2)              |           | 株式会社東芝                     |
| (62) 分割の表示         | 特願2014-132340 (P2014-132340)<br>の分割 |           | 東京都港区芝浦一丁目1番1号             |
| 原出願日               | 平成26年6月27日 (2014.6.27)              | (73) 特許権者 | 317015294                  |
| (65) 公開番号          | 特開2019-20424 (P2019-20424A)         |           | 東芝エネルギーシステムズ株式会社           |
| (43) 公開日           | 平成31年2月7日 (2019.2.7)                |           | 神奈川県川崎市幸区堀川町72番地34         |
| 審査請求日              | 平成30年10月2日 (2018.10.2)              | (74) 代理人  | 110001380                  |
| (31) 優先権主張番号       | 特願2013-135510 (P2013-135510)        |           | 特許業務法人東京国際特許事務所            |
| (32) 優先日           | 平成25年6月27日 (2013.6.27)              | (72) 発明者  | 稲田 陽平                      |
| (33) 優先権主張国・地域又は機関 | 日本国 (JP)                            |           | 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社<br>東芝内 |
|                    |                                     | 審査官       | 齋藤 卓司                      |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 空間位置計測装置、空間位置計測方法及び空間位置計測プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1物体に設けられた3つの送信センサ $S_j$  ( $j = 1, 2, 3$ ) から、 $A M, F M, C D M A, T D M A, F D M A$ のうちいずれか一つの変調を施しさらに送信元を識別可能な識別情報を搭載した超音波を、送信させる送信部と、

第2物体に設けられた3つの受信センサ $M_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) が受信した超音波を検出する検出部と、

前記受信センサが受信した超音波の特定の周波数成分を抽出する抽出部と、

前記第1物体及び前記第2物体の間に介在する媒質を伝搬する超音波の主要な前記周波数成分の受信強度に基づいて前記送信センサ $S_j$ から前記受信センサ $M_i$ への前記超音波の伝搬時間 $t_{i,j}$ を導出する導出部と、

前記伝搬時間 $t_{i,j}$ に基づいて前記送信センサ $S_j$ 及び前記受信センサ $M_i$ の距離 $r_{i,j}$ を数式(1)に基づいて演算する距離演算部と、

$$r_{i,j} = (v + \alpha T) t_{i,j} \quad (1)$$

< 数式(1)において、

$T$  ; 温度、 $\alpha$  ; 係数、

$v$  ;  $T = 0$  において、前記送信センサ $S_j$ と前記受信センサ $M_i$ との間に介在する媒質における前記超音波の伝搬速度 >

前記送信センサ $S_j$ の群及び前記受信センサ $M_i$ の群のうちいずれか一方の位置座標( $X_j, Y_j, Z_j$ )が固定された座標系において他方の位置座標( $x_i, y_i, z_i$ )を前記距離

10

20

$r_{i,j}$ に基づいて数式(1) - (10)に従い逐次計算法により演算する座標演算部と、  
 <数式(1) - (10)において、前記位置座標( $x_i, y_i, z_i$ )の初期値( $x_{i-0}, y_{i-0}, z_{i-0}$ )が予め設定されており、数式(2)(3)(4)(5)(6)(7)で修正値( $\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i$ )を演算し、この修正値( $\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i$ )を数式(8)(9)(10)に代入して前記位置座標( $x_i, y_i, z_i$ )を演算し、この演算した位置座標( $x_i, y_i, z_i$ )を初期値( $x_{i-0}, y_{i-0}, z_{i-0}$ )に置き換えて数式(1) - (10)の演算を繰り返して規定値を下回る修正値( $\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i$ )の収束値を得て、この修正値( $\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i$ )の収束値を数式(8)(9)(10)に代入して位置座標( $x_i, y_i, z_i$ )の収束値を得る>

前記位置座標( $X_j, Y_j, Z_j$ )を含む第1平面の方程式( $aX + bY + cZ + d = 0$ )と前記位置座標( $x_i, y_i, z_i$ )の収束値を含む第2平面の方程式( $ex + fy + gz + h = 0$ )とを導出する導出部と、

前記第1平面の方程式から得られる法線ベクトル( $a, b, c$ )及び前記第2平面の方程式から得られる法線ベクトル( $e, f, g$ )に基づいて、前記第1物体及び前記第2物体の相対角度を演算する相対角度演算部と、を備えることを特徴とする空間位置計測装置。

【数1】

$$r_{i,j} = \sqrt{\{(X_j - x_i)^2 + (Y_j - y_i)^2 + (Z_j - z_i)^2\}} \quad (2)$$

$$\Delta r_{ij} = \partial r_{ij} / \partial x_i \cdot \Delta x_i + \partial r_{ij} / \partial y_i \cdot \Delta y_i + \partial r_{ij} / \partial z_i \cdot \Delta z_i \quad (3)$$

$$= r_{ij} - \sqrt{\{(X_j - x_{i-0})^2 + (Y_j - y_{i-0})^2 + (Z_j - z_{i-0})^2\}}$$

$$\frac{\partial r_{ij}}{\partial x_i} = \frac{-(X_j - x_{i-0})}{\sqrt{(X_j - x_{i-0})^2 + (Y_j - y_{i-0})^2 + (Z_j - z_{i-0})^2}} = \alpha_{ij} \quad (4)$$

$$\frac{\partial r_{ij}}{\partial y_i} = \frac{-(Y_j - y_{i-0})}{\sqrt{(X_j - x_{i-0})^2 + (Y_j - y_{i-0})^2 + (Z_j - z_{i-0})^2}} = \beta_{ij} \quad (5)$$

$$\frac{\partial r_{ij}}{\partial z_i} = \frac{-(Z_j - z_{i-0})}{\sqrt{(X_j - x_{i-0})^2 + (Y_j - y_{i-0})^2 + (Z_j - z_{i-0})^2}} = \gamma_{ij} \quad (6)$$

$$\begin{pmatrix} \Delta x_i \\ \Delta y_i \\ \Delta z_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_{i1} & \beta_{i1} & \gamma_{i1} \\ \alpha_{i2} & \beta_{i2} & \gamma_{i2} \\ \alpha_{i3} & \beta_{i3} & \gamma_{i3} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \Delta r_{i1} \\ \Delta r_{i2} \\ \Delta r_{i3} \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$x_i = x_{i-0} + \Delta x_i \quad (8)$$

$$y_i = y_{i-0} + \Delta y_i \quad (9)$$

$$z_i = z_{i-0} + \Delta z_i \quad (10)$$

【請求項2】

請求項1に記載の空間位置計測装置において、

10

20

30

40

50

前記送信センサは、前記超音波の前記第 1 物体への伝搬を抑制する部材を介して前記第 1 物体に設けられていることを特徴とする空間位置計測装置。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の空間位置計測装置において、

前記送信センサの群及び前記受信センサの群は、それぞれ第 1 物体及び第 2 物体に着脱自在なアタッチメントに配置されていることを特徴とする空間位置計測装置。

【請求項 4】

第 1 物体に設けられた 3 つの送信センサ  $S_j$  ( $j = 1, 2, 3$ ) から、 $AM, FM, CDMA, TDMA, FDMA$  のうちいずれか一つの変調を施しさらに送信元を識別可能な識別情報を搭載した超音波を、送信させるステップと、

10

第 2 物体に設けられた 3 つの受信センサ  $M_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) が受信した超音波を検出するステップと、

前記受信センサが受信した超音波の特定の周波数成分を抽出するステップと、

前記第 1 物体及び前記第 2 物体の間に介在する媒質を伝搬する超音波の主要な前記周波数成分の受信強度に基づいて前記送信センサ  $S_j$  から前記受信センサ  $M_i$  への前記超音波の伝搬時間  $t_{i,j}$  を導出するステップと、

前記伝搬時間  $t_{i,j}$  に基づいて前記送信センサ  $S_j$  及び前記受信センサ  $M_i$  の距離  $r_{i,j}$  を数式 (1) に基づいて演算するステップと、

$$r_{i,j} = (v + \alpha T) t_{i,j} \quad (1)$$

< 数式 (1) において、

$T$  ; 温度、 $\alpha$  ; 係数、

$v$  ;  $T = 0$  において、前記送信センサ  $S_j$  と前記受信センサ  $M_i$  との間に介在する媒質における前記超音波の伝搬速度 >

20

前記送信センサ  $S_j$  及び前記受信センサ  $M_i$  のうちいずれか一方の位置座標 ( $X_j, Y_j, Z_j$ ) が固定された座標系において他方の位置座標 ( $x_i, y_i, z_i$ ) を前記距離  $r_{i,j}$  に基づいて数式 (1) - (10) に従い逐次計算法により演算するステップと、

< 数式 (1) - (10) において、前記位置座標 ( $x_i, y_i, z_i$ ) の初期値 ( $x_{i-0}, y_{i-0}, z_{i-0}$ ) が予め設定されており、数式 (2) (3) (4) (5) (6) (7) で修正値 ( $\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i$ ) を演算し、この修正値 ( $\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i$ ) を数式 (8) (9) (10) に代入して前記位置座標 ( $x_i, y_i, z_i$ ) を演算し、この演算した位置座標 ( $x_i, y_i, z_i$ ) を初期値 ( $x_{i-0}, y_{i-0}, z_{i-0}$ ) に置き換えて数式 (1) - (10) の演算を繰り返して規定値を下回る修正値 ( $\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i$ ) の収束値を得て、この修正値 ( $\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i$ ) の収束値を数式 (8) (9) (10) に代入して位置座標 ( $x_i, y_i, z_i$ ) の収束値を得る >

30

前記位置座標 ( $X_j, Y_j, Z_j$ ) を含む第 1 平面の方程式 ( $aX + bY + cZ + d = 0$ ) と前記位置座標 ( $x_i, y_i, z_i$ ) の収束値を含む第 2 平面の方程式 ( $ex + fy + gz + h = 0$ ) とを導出するステップと、

前記第 1 平面の方程式から得られる法線ベクトル ( $a, b, c$ ) 及び前記第 2 平面の方程式から得られる法線ベクトル ( $e, f, g$ ) に基づいて、前記第 1 物体及び前記第 2 物体の相対角度を演算するステップと、を含むことを特徴とする空間位置計測方法。

40

【数 2】

$$r_{i,j} = \sqrt{\{(X_j - x_i)^2 + (Y_j - y_i)^2 + (Z_j - z_i)^2\}} \quad (2)$$

$$\Delta r_{ij} = \partial r_{ij} / \partial x_i \cdot \Delta x_i + \partial r_{ij} / \partial y_i \cdot \Delta y_i + \partial r_{ij} / \partial z_i \cdot \Delta z_i \quad (3)$$

$$= r_{ij} - \sqrt{\{(X_j - x_{i-0})^2 + (Y_j - y_{i-0})^2 + (Z_j - z_{i-0})^2\}}$$

$$\frac{\partial r_{ij}}{\partial x_i} = \frac{-(X_j - x_{i-0})}{\sqrt{(X_j - x_{i-0})^2 + (Y_j - y_{i-0})^2 + (Z_j - z_{i-0})^2}} = \alpha_{ij} \quad (4)$$

10

$$\frac{\partial r_{ij}}{\partial y_i} = \frac{-(Y_j - y_{i-0})}{\sqrt{(X_j - x_{i-0})^2 + (Y_j - y_{i-0})^2 + (Z_j - z_{i-0})^2}} = \beta_{ij} \quad (5)$$

$$\frac{\partial r_{ij}}{\partial z_i} = \frac{-(Z_j - z_{i-0})}{\sqrt{(X_j - x_{i-0})^2 + (Y_j - y_{i-0})^2 + (Z_j - z_{i-0})^2}} = \gamma_{ij} \quad (6)$$

20

$$\begin{pmatrix} \Delta x_i \\ \Delta y_i \\ \Delta z_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_{i1} & \beta_{i1} & \gamma_{i1} \\ \alpha_{i2} & \beta_{i2} & \gamma_{i2} \\ \alpha_{i3} & \beta_{i3} & \gamma_{i3} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \Delta r_{i1} \\ \Delta r_{i2} \\ \Delta r_{i3} \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$x_i = x_{i-0} + \Delta x_i \quad (8)$$

$$y_i = y_{i-0} + \Delta y_i \quad (9)$$

$$z_i = z_{i-0} + \Delta z_i \quad (10)$$

30

【請求項 5】

コンピュータに、

第 1 物体に設けられた 3 つの送信センサ  $S_j$  ( $j = 1, 2, 3$ ) から、AM, FM, CDMA, TDMA, FDMA のうちいずれか一つの変調を施しさらに送信元を識別可能な識別情報を搭載した超音波を、送信させるステップ、

第 2 物体に設けられた 3 つの受信センサ  $M_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) が受信した超音波を検出するステップ、

前記受信センサが受信した超音波の特定の周波数成分を抽出するステップ、

40

前記第 1 物体及び前記第 2 物体の間に介在する媒質を伝搬する超音波の主要な前記周波数成分の受信強度に基づいて前記送信センサ  $S_j$  から前記受信センサ  $M_i$  への前記超音波の伝搬時間  $t_{i,j}$  を導出するステップ、

前記伝搬時間  $t_{i,j}$  に基づいて前記送信センサ  $S_j$  及び前記受信センサ  $M_i$  の距離  $r_{i,j}$  を数式 (1) に基づいて演算するステップ、

$$r_{i,j} = (v + \alpha T) t_{i,j} \quad (1)$$

< 数式 (1) において、

$T$  ; 温度、 $\alpha$  ; 係数、

$v$  ;  $T = 0$  において、前記送信センサ  $S_j$  と前記受信センサ  $M_i$  との間に介在する媒質における前記超音波の伝搬速度 >

50

前記送信センサ $S_j$ 及び前記受信センサ $M_i$ のうちいずれか一方の位置座標 $(X_j, Y_j, Z_j)$ が固定された座標系において他方の位置座標 $(x_i, y_i, z_i)$ を前記距離 $r_{ij}$ に基づいて数式(1)-(10)に従い逐次計算法により演算するステップ、

<数式(1)-(10)において、前記位置座標 $(x_i, y_i, z_i)$ の初期値 $(x_{i-0}, y_{i-0}, z_{i-0})$ が予め設定されており、数式(2)(3)(4)(5)(6)(7)で修正値 $(\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i)$ を演算し、この修正値 $(\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i)$ を数式(8)(9)(10)に代入して前記位置座標 $(x_i, y_i, z_i)$ を演算し、この演算した位置座標 $(x_i, y_i, z_i)$ を初期値 $(x_{i-0}, y_{i-0}, z_{i-0})$ に置き換えて数式(1)-(10)の演算を繰り返して規定値を下回る修正値 $(\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i)$ の収束値を得て、この修正値 $(\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i)$ の収束値を数式(8)(9)(10)に代入して位置座標 $(x_i, y_i, z_i)$ の収束値を得る>

10

前記位置座標 $(X_j, Y_j, Z_j)$ を含む第1平面の方程式 $(aX + bY + cZ + d = 0)$ と前記位置座標 $(x_i, y_i, z_i)$ の収束値を含む第2平面の方程式 $(ex + fy + gz + h = 0)$ とを導出するステップ、

前記第1平面の方程式から得られる法線ベクトル $(a, b, c)$ 及び前記第2平面の方程式から得られる法線ベクトル $(e, f, g)$ に基づいて、前記第1物体及び前記第2物体の相対角度を演算するステップ、を実行させることを特徴とする空間位置計測プログラム。

【数3】

$$r_{ij} = \sqrt{\{(X_j - x_i)^2 + (Y_j - y_i)^2 + (Z_j - z_i)^2\}} \quad (2)$$

20

$$\Delta r_{ij} = \partial r_{ij} / \partial x_i \cdot \Delta x_i + \partial r_{ij} / \partial y_i \cdot \Delta y_i + \partial r_{ij} / \partial z_i \cdot \Delta z_i \quad (3)$$

$$= r_{ij} - \sqrt{\{(X_j - x_{i-0})^2 + (Y_j - y_{i-0})^2 + (Z_j - z_{i-0})^2\}}$$

$$\frac{\partial r_{ij}}{\partial x_i} = \frac{-(X_j - x_{i-0})}{\sqrt{(X_j - x_{i-0})^2 + (Y_j - y_{i-0})^2 + (Z_j - z_{i-0})^2}} = \alpha_{ij} \quad (4)$$

30

$$\frac{\partial r_{ij}}{\partial y_i} = \frac{-(Y_j - y_{i-0})}{\sqrt{(X_j - x_{i-0})^2 + (Y_j - y_{i-0})^2 + (Z_j - z_{i-0})^2}} = \beta_{ij} \quad (5)$$

$$\frac{\partial r_{ij}}{\partial z_i} = \frac{-(Z_j - z_{i-0})}{\sqrt{(X_j - x_{i-0})^2 + (Y_j - y_{i-0})^2 + (Z_j - z_{i-0})^2}} = \gamma_{ij} \quad (6)$$

$$\begin{pmatrix} \Delta x_i \\ \Delta y_i \\ \Delta z_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_{i1} & \beta_{i1} & \gamma_{i1} \\ \alpha_{i2} & \beta_{i2} & \gamma_{i2} \\ \alpha_{i3} & \beta_{i3} & \gamma_{i3} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \Delta r_{i1} \\ \Delta r_{i2} \\ \Delta r_{i3} \end{pmatrix} \quad (7)$$

40

$$x_i = x_{i-0} + \Delta x_i \quad (8)$$

$$y_i = y_{i-0} + \Delta y_i \quad (9)$$

$$z_i = z_{i-0} + \Delta z_i \quad (10)$$

50

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、空間に存在する二つの物体の相対的な位置関係を計測する技術に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

空間に存在する物体の位置を計測する技術として、電波を利用するGPS (Global Positioning System) や、画像解析による技術が広く知られている (例えば、特許文献1, 2参照)。

## 【先行技術文献】

10

## 【特許文献】

## 【0003】

【特許文献1】特開2008-298607号公報

【特許文献2】特開2009-217490号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0004】

GPSは、情報伝達媒体として光速の電波を用いている。このため、現在一般に普及しているパーソナルコンピュータやD/A変換器のクロック周波数では、この電波の到達時間に基づいて、至近距離にある受信器と発信器との距離を、ミリメートル以下のオーダーで正確に計測することは不可能である。

20

また、画像解析による位置計測技術では、CCDカメラ等で撮影した画像をコンピュータにより演算処理することになるため、光学計測系が大規模になり、コンピュータの演算処理の負荷も高く、リアルタイム処理が制約される課題があった。

## 【0005】

本発明はこのような事情を考慮してなされたもので、至近距離にある二つの物体の相対位置をリアルタイムで認識しかつ小規模で実現される空間位置計測技術を提供することを目的とする。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0006】

30

本発明の空間位置計測装置において、第1物体に設けられた3つの送信センサ $S_j$  ( $j = 1, 2, 3$ ) から AM, FM, CDMA, TDMA, FDMAのうちいずれか一つの変調を施しさらに送信元を識別可能な識別情報を搭載した超音波を送信させる送信部と、第2物体に設けられた3つの受信センサ $M_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) が受信した超音波を検出する検出部と、前記受信センサが受信した超音波の特定の周波数成分を抽出する抽出部と、前記第1物体及び前記第2物体の間に介在する媒質を伝搬する超音波の主要な前記周波数成分の受信強度に基づいて前記送信センサ $S_j$  から前記受信センサ $M_i$  への前記超音波の伝搬時間  $t_{i,j}$  を導出する導出部と、前記伝搬時間  $t_{i,j}$  に基づいて前記送信センサ $S_j$  及び前記受信センサ $M_i$  の距離  $r_{i,j}$  を演算する距離演算部と、前記送信センサ $S_j$  の群及び前記受信センサ $M_i$  の群のうちいずれか一方の位置座標  $(X_j, Y_j, Z_j)$  が固定された座標系において他方の位置座標  $(x_i, y_i, z_i)$  を前記距離  $r_{i,j}$  に基づいて逐次計算法により演算する座標演算部と、前記位置座標  $(X_j, Y_j, Z_j)$  を含む第1平面の方程式  $(ax + by + cz + d = 0)$  と前記位置座標  $(x_i, y_i, z_i)$  の収束値を含む第2平面の方程式  $(ex + fy + gz + h = 0)$  とを導出する導出部と、前記第1平面の方程式から得られる法線ベクトル  $(a, b, c)$  及び前記第2平面の方程式から得られる法線ベクトル  $(e, f, g)$  に基づいて、前記第1物体及び前記第2物体の相対角度を演算する相対角度演算部と、を備えている。

40

## 【発明の効果】

## 【0007】

本発明により、至近距離にある二つの物体の相対位置をリアルタイムで認識しかつ小規

50

模で実現される空間位置計測技術が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】本発明に係る空間位置計測装置の第1実施形態を示す構成図。

【図2】第1実施形態に係る空間位置計測装置の外観図。

【図3】空間位置計測の原理の説明図。

【図4】超音波の伝搬時間の導出の説明図。

【図5】受信した超音波の周波数スペクトルを示すグラフ。

【図6】演算式を示す図。

【図7】第1実施形態に係る空間位置計測装置の動作を説明するフローチャート。

【図8】第2実施形態に係る空間位置計測装置の外観図。

【図9】空間の直線方程式の説明図。

【発明を実施するための形態】

【0009】

(第1実施形態)

以下、本発明の実施形態を添付図面に基づいて説明する。

図1に示すように第1実施形態に係る空間位置計測装置10は、第1物体21(図2)に設けられた3以上の送信センサ $S_j$ ( $j=1, 2, 3$ )から送信元を識別可能に超音波を送信させる送信部12と、第2物体22(図2)に設けられた2以上の受信センサ $M_i$ ( $i=1, 2, 3$ )が受信した超音波を検出する検出部13と、導出部14が導いた超音波の伝搬時間 $t_{i,j}$ (図4)に基づいて送信センサ $S_j$ 及び受信センサ $M_i$ の距離 $r_{i,j}$ (図3)を演算し保持部16に保持させる距離演算部15と、送信センサ $S_j$ ( $j=1, 2, 3$ )の群及び受信センサ $M_i$ ( $i=1, 2, 3$ )の群のうちいずれか一方の位置が固定された座標系において他方の位置座標を距離 $r_{i,j}$ に基づいて演算する座標演算部17と、を備えている。

【0010】

さらに空間位置計測装置10は、送信センサ $S_j$ ( $j=1, 2, 3$ )の群及び受信センサ $M_i$ ( $i=1, 2, 3$ )の群の位置座標を含む平面の方程式を導出する導出部18と、この平面方程式に基づいて第1物体21及び第2物体22の相対角度 $\theta$ を演算する相対角度演算部19と、をさらに備えている。

【0011】

さらに空間位置計測装置10は、受信センサ $M_i$ ( $i=1, 2, 3$ )が受信した超音波の特定の周波数成分を抽出する抽出部31をさらに備え、第1物体21及び第2物体22の間に介在する媒質(空気)を伝搬する超音波の主要な周波数成分の受信強度に基づいて伝搬時間 $t_{i,j}$ が決定される。

【0012】

図2に示すように、第1物体21及び第2物体22は、例えば、プラント設備、住居、オフィスビル等の建築物において施設される配管、伸縮継手、梁及び板部材等が挙げられる。そして、空間位置計測装置10により、これら二つの物体21, 22の相対的な位置関係の認識、突合せ面の芯出しをするために必要な情報を取得する。

【0013】

例えば、プラント建設現場等の配管や梁の据付場面において、施工上の不良や公差の積算などにより、梁や配管フランジの面間が想定よりずれてしまう場合がある。

据付を正常状態に修正するには、まず、この不良状態を短時間で正確に把握することが要求される。特に原子力プラント等の放射線管理区域内において、機器位置ずれ(芯ずれ)を矯正する作業や機器位置合わせを実施する作業を短時間化することは、作業員の被ばく量の低減につながる。

第1物体21及び第2物体22のそれぞれに、空間位置計測装置10の送信センサ $S_j$ ( $j=1, 2, 3$ )及び受信センサ $M_i$ ( $i=1, 2, 3$ )を据え付けた後は、作業員は線量の低い場所へ移動して、遠隔にて高精度の計測をリアルタイムで実施することができ

10

20

30

40

50

る。

【 0 0 1 4 】

送信部 1 2 は、送信センサ  $S_j$  に超音波を発振させる電気信号を出力する発振部 1 2 a と、この電気信号を切り替えて送信センサ  $S_j$  に導く切替部 1 2 b とから構成されている。この切替部 1 2 b から電気信号を順繰りに入力した送信センサ  $S_j$  ( $j = 1, 2, 3$ ) は、この電気信号の入力タイミングに同期して固有の周波数の超音波を送信する。これにより、受信センサ  $M_i$  は、受信タイミングから超音波の送信元の送信センサ  $S_j$  を識別することができる。

【 0 0 1 5 】

一方において超音波に、A M (Amplitude Modulation)、F M (Frequency Modulation)、C D M A (Code Division Multiple Access) 変調、T D M A (Time Division Multiple Access) 変調、F D M A (Frequency Division Multiple Access) 変調のうちいずれか一種類を施して、音波の発信時刻情報や、送信センサ  $S_j$  の識別情報を搭載することができる。

この場合、受信センサ  $M_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) は、搭載されている識別情報に基づいて、受信した超音波の送信元の送信センサ  $S_j$  を識別することが可能であるため、切替部 1 2 b は不要となる。

【 0 0 1 6 】

図 3 に示すように、いずれか一つの送信センサ  $S_1$  から送信された超音波は、第 1 物体 2 1 及び第 2 物体 2 2 の間に介在する媒質 (空気又は液体) を伝搬して、全ての受信センサ  $M_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) に入力される。

そして、後述する演算式に基づいて、この送信センサ  $S_1$  と、全ての受信センサ  $M_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) との距離  $r_{1,1}, r_{2,1}, r_{3,1}$  が求められる。

同様に、送信センサ  $S_2, S_3$  から送信された超音波により、受信センサ  $M_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) との距離  $r_{1,2}, r_{2,2}, r_{3,2}, r_{1,3}, r_{2,3}, r_{3,3}$  (図示略) が求められる。

このようにして求められた、複数の距離  $r_{i,j}$  に基づいて、送信センサ  $S_j$  及び受信センサ  $M_i$  のうちいずれか一方に対する他方の相対位置関係が導かれる。

【 0 0 1 7 】

なお、本実施形態において、送信センサ  $S_j$  は、同一面内に 3 つ設けられ、受信センサ  $M_i$  は、同一面内に 3 つ設けられているものを例示しているが、それぞれの同一面内にさらに多く設けてもよい。

また、第 1 物体 2 1 及び第 2 物体 2 2 の間の方向関係のみを導きたい場合、送信センサ  $S_j$  は少なくとも 3 個、受信センサ  $M_i$  は少なくとも 2 個存在していればよい。すなわち、受信センサ  $M_i$  ( $i = 1, 2$ ) という構成であってもよい。

【 0 0 1 8 】

図 4 (A) は、送信センサ  $S_j$  から送信された超音波の波形を示し、図 4 (B) は、受信センサ  $M_i$  が受信して検出部 1 3 で検出された超音波の波形を示している。

伝搬時間導出部 1 4 (図 1) は、送信側の超音波の波形のピーク時点と受信側の超音波の波形のピーク時点とから、送信センサ  $S_j$  から受信センサ  $M_i$  への超音波の伝搬時間  $t_{i,j}$  を導く。

【 0 0 1 9 】

距離演算部 1 5 は、この超音波の伝搬時間  $t_{i,j}$  を入力し、次式 (1) に基づいて、温度  $T$  の関数で表される音速 ( $v + \alpha T$ ) を乗算し ( $\alpha$ ; 係数)、送信センサ  $S_j$  から受信センサ  $M_i$  までの距離  $r_{i,j}$  を演算する。

そして、全ての送信センサ  $S_j$  及び受信センサ  $M_i$  の組み合わせについて距離  $r_{i,j}$  を演算し保持部 1 6 に保持させる。

$$r_{i,j} = (v + \alpha T) t_{i,j} \quad \dots (1)$$

【 0 0 2 0 】

ここで、図 4 (B) の超音波の受信波形に注目すると、図 4 (A) の超音波の送信波形と比較して、波形の裾野部分がブロードに観測される。

これは、送信センサ  $S_j$  から受信センサ  $M_i$  まで、超音波が直線的に伝播する経路以外に、第 1 物体 2 1 又は第 2 物体 2 2 の表面を経由して伝播する経路や反射波によるエコー効果があるためである。

つまり、気体や液体等の媒体を通過するよりも、固体を通過する場合の方が、超音波が高速に伝播し、さらに減衰しにくいために、受信波形はブロード化する傾向がある。

この受信波形のブロード化が進行すると、超音波の伝搬時間  $t_{i,j}$  の導出の正確性が低下する。

#### 【 0 0 2 1 】

例えば、空気中における超音波の伝搬速度は約  $331.45 + 0.6 T [m/s]$  ( $T [K]$  は空気の絶対温度) であるが、金属固体内では空気中の約 1.5 倍の伝搬速度を示すことが知られている。

10

#### 【 0 0 2 2 】

そこで、送信センサ  $S_1$  又は受信センサ  $M_i$  は、超音波の伝搬を抑制する部材 (図示略) を介してそれぞれ第 1 物体 2 1 又は第 2 物体 2 2 に設けられている。

この超音波の伝搬抑制部材としては、具体的にラバー等が挙げられる。

#### 【 0 0 2 3 】

また、超音波は、気体中において疎密波 (縦波) だけであるが、金属等の弾性体に入ると横波も同時発生し、受信センサ  $M_i$  に到達した時点では複雑な波形となる。

そして、受信センサ  $M_i$  で受信された超音波の周波数スペクトルは、図 5 に示すように、ブロード形状を示す。

20

#### 【 0 0 2 4 】

そこで、周波数成分抽出部 3 1 を伝搬時間導出部 1 4 の手前に設ける。

そして、検出部 1 3 で検出された超音波の特定の周波数成分を抽出し、この周波数成分の受信強度に基づいて伝搬時間  $t_{i,j}$  を決定する。

なお、抽出される周波数成分は、第 1 物体 2 1 及び第 2 物体 2 2 の間に介在する媒質 (空気又は液体) を伝搬する超音波の主要な周波数成分とする。また、この周波数成分は、検出部 1 3 で検出された超音波の波形を FFT (高速フーリエ変換) 解析することにより、抽出される。

#### 【 0 0 2 5 】

座標演算部 1 7 は、送信センサ  $S_j$  ( $j = 1, 2, 3$ ) の群及び受信センサ  $M_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) の群のうちいずれか一方の位置が固定された座標系において他方の位置座標を距離  $r_{i,j}$  に基づいて演算する。

30

ここで、送信センサ  $S_j$  の座標を  $(X_j, Y_j, Z_j)$  とし、受信センサ  $M_i$  の座標を  $(x_i, y_i, z_i)$  と設定すると、両座標の距離  $r_{i,j}$  は、次式 (2) のように表される。

$$r_{i,j} = \sqrt{\{(X_j - x_i)^2 + (Y_j - y_i)^2 + (Z_j - z_i)^2\}} \quad \dots (2)$$

#### 【 0 0 2 6 】

ここで、送信センサ  $S_j$  の座標  $(X_j, Y_j, Z_j)$  を固定 (定数) とし、受信センサ  $M_i$  の座標  $(x_i, y_i, z_i)$  を演算対象 (変数) とした場合、この座標変数  $(x_i, y_i, z_i)$  の導出方法の一例として、逐次計算法 (ニュートン法) を概説する。

この座標変数  $(x_i, y_i, z_i)$  を、初期値  $(x_{i-0}, y_{i-0}, z_{i-0})$  と修正値  $(\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i)$  との和として次式 (3 a) (3 b) (3 c) のように表す。

40

$$x_i = x_{i-0} + \Delta x_i \quad \dots (3 a)$$

$$y_i = y_{i-0} + \Delta y_i \quad \dots (3 b)$$

$$z_i = z_{i-0} + \Delta z_i \quad \dots (3 c)$$

#### 【 0 0 2 7 】

次式 (4 a) で表される近似式 (線形化式) を導入し、これは式 (1) と式 (2) の差分になる。よって、式 (4 a) は、式 (4 b) と等号で結ばれる。

$$\Delta r_{ij} = \partial r_{ij} / \partial x_i \cdot \Delta x_i + \partial r_{ij} / \partial y_i \cdot \Delta y_i + \partial r_{ij} / \partial z_i \cdot \Delta z_i \quad \dots (4 a)$$

$$= r_{ij} - \sqrt{\{(X_j - x_{i-0})^2 + (Y_j - y_{i-0})^2 + (Z_j - z_{i-0})^2\}} \quad \dots ($$

50

4 b )

【 0 0 2 8 】

式 ( 4 a ) に現れる偏微分項は、式 ( 2 ) を偏微分することによって得られ、図 6 に示す式 ( 5 a ) ( 5 b ) ( 5 c ) が導かれる。

さらに、送信センサ  $S_j$  (  $j = 1, 2, 3$  ) について、式 ( 4 a ) は、図 6 の行列式 ( 6 a ) で表わされ、さらに行列式 ( 6 b ) のように展開される。

【 0 0 2 9 】

そして、図 6 の行列式 ( 6 b ) で得られた (  $\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i$  ) を式 ( 3 a ) ( 3 b ) ( 3 c ) に代入して、座標変数 (  $x_i, y_i, z_i$  ) を導く。

このように導いた座標変数 (  $x_i, y_i, z_i$  ) を、初期値 (  $x_{i-0}, y_{i-0}, z_{i-0}$  ) に置き換えて、式 ( 5 ) ( 6 ) の演算を (  $\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i$  ) が規定値を下回って収束するまで繰り返す ( 例えば、1 mm を規定値とした場合、 $|\Delta x_i| < 1 \text{ mm}$ 、 $|\Delta y_i| < 1 \text{ mm}$ 、 $|\Delta z_i| < 1 \text{ mm}$  に至った時点で収束したと判定する、など )。

なお、便宜的に受信センサ  $M_i$  の群について、一括りに式 ( 3 ) ~ ( 6 ) を記述しているが、受信センサ  $M_i$  の各演算は同時並行で独立して実施される。つまり  $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$  の収束演算に際して演算の繰り返し回数は、それぞれ異なる演算回数、異なる演算所要時間となる場合がある。よって、受信センサ  $M_i$  の 2 つもしくは 3 つの座標が同時に正確な値を保持するためには、一定の時定数が必要となる。

このような繰り返し演算の結果得られた座標変数 (  $x_i, y_i, z_i$  ) を座標演算部 17 ( 図 1 ) の出力とする。

【 0 0 3 0 】

空間の直線方程式は、図 9 に示すように、少なくとも 2 点の受信センサ  $M_i$  (  $i = 1, 2$  ) の空間座標変数 (  $x_1, y_1, z_1$  )、(  $x_2, y_2, z_2$  ) が算出されていれば、直線 : (  $x, y, z$  ) = (  $x_1, y_1, z_1$  ) +  $t$  (  $x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1$  ) のように求まる。ここで  $t$  は媒介変数である。なお (  $x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1$  ) は、直線の方法ベクトルである。

【 0 0 3 1 】

平面方程式導出部 18 は、座標演算部 17 から出力された座標 (  $x_i, y_i, z_i$  ) (  $i = 1, 2, 3$  ) に基づいて受信センサ  $M_i$  の群を含む平面方程式を導出し、座標 (  $X_j, Y_j, Z_j$  ) (  $j = 1, 2, 3$  ) に基づいて送信センサ  $S_j$  の群を含む平面方程式を導出する。

【 0 0 3 2 】

ここで、送信センサ  $S_j$  の群を含む平面方程式を次式 ( 7 ) のように設定した場合、係数 (  $a, b, c, d$  ) は、次式 ( 8 a ) ( 8 b ) ( 8 c ) の連立方程式の解となる。

$$aX + bY + cZ + d = 0 \quad \dots (7)$$

$$aX_1 + bY_1 + cZ_1 + d = 0 \quad \dots (8a)$$

$$aX_2 + bY_2 + cZ_2 + d = 0 \quad \dots (8b)$$

$$aX_3 + bY_3 + cZ_3 + d = 0 \quad \dots (8c)$$

【 0 0 3 3 】

同様に、受信センサ  $M_i$  の群を含む平面方程式を次式 ( 9 ) のように設定した場合、係数 (  $e, f, g, h$  ) は、次式 ( 10 a ) ( 10 b ) ( 10 c ) の連立方程式の解となる。

$$eX + fY + gZ + h = 0 \quad \dots (9)$$

$$eX_1 + fY_1 + gZ_1 + h = 0 \quad \dots (10a)$$

$$eX_2 + fY_2 + gZ_2 + h = 0 \quad \dots (10b)$$

$$eX_3 + fY_3 + gZ_3 + h = 0 \quad \dots (10c)$$

【 0 0 3 4 】

相対角度演算部 19 は、この平面方程式 ( 7 ) ( 9 ) に基づいて、第 1 物体 21 及び第 2 物体 22 の相対角度  $\theta$  を演算する。

ここで、送信センサ  $S_j$  の群を含む平面方程式の法線ベクトル  $n_1$  は (  $a, b, c$  ) で表され、受信センサ  $M_i$  の群を含む平面方程式の法線ベクトル  $n_2$  は (  $e, f, g$  ) で表され

る。

さらに、第1物体21及び第2物体22の相対角度 $\theta$ は、この二つの法線 $n_1, n_2$ の交差角で表されるために、図6の式(11a)(11b)に従って演算される。

【0035】

直線方程式との交差角も同様に、送信センサ $S_j$ の群を含む平面方程式の法線ベクトル $n_1$ は $(a, b, c)$ 、直線方向ベクトルは $(e, f, g) = (x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1)$ で表され、前記交差角と同様に送信センサ $S_j$ の群を含む平面と、求めた直線がどのような位置関係にあるかが演算される。

【0036】

図7のフローチャートに基づいて各実施形態に係る空間位置計測装置の動作を説明する(適宜、図1, 2参照)。 10

第1物体21に設けられた複数の送信センサ $S_j$ ( $j = 1 \sim J$ )のうち、まず第1送信センサ $S_1$ から超音波を送信させる( $S11, S12$ )。

送信された超音波は、第2物体22に設けられた全ての受信センサ $M_i$ ( $i = 1 \sim I$ )により受信され、それぞれの伝搬時間 $t_{i,1}$ に基づいて送信センサ $S_1$ から受信センサ $M_i$ ( $i = 1 \sim I$ )までのそれぞれの距離 $r_{i,1}$ を演算する( $S13 \sim S15$ )。

さらに、第2～第J送信センサ $S_j$ ( $j = 2 \sim J$ )についても、順繰りに超音波を送信することにより、受信センサ $M_i$ ( $i = 1 \sim I$ )までのそれぞれの距離 $r_{i,j}$ を演算する( $S16$ )。

【0037】

20

送信センサ $S_j$ ( $j = 1 \sim J$ )及び受信センサ $M_i$ ( $i = 1 \sim I$ )のうちいずれか一方の位置を、座標系において固定し、演算された距離 $r_{i,j}$ ( $i = 1 \sim I, j = 1 \sim J$ )から、他方の位置座標を演算する( $S17$ )。

送信センサ $S_j$ の群の座標 $(X_j, Y_j, Z_j)$ ( $j = 1 \sim J$ )を含む平面方程式を導出し、受信センサ $M_i$ の群の座標 $(x_i, y_i, z_i)$ ( $i = 1 \sim I$ )を含む平面方程式を導出する( $S18$ )。

この際、ある平面に4つ以上の送信センサ $S_j$ 、もう一方の平面に4つ以上の受信センサ $M_i$ を装着し、平面方程式を求める際に最小二乗法を用いて、過剰決定にて平面方程式の算出精度を向上させることもできる。

送信センサ $S_j$ の群を含む平面方程式の法線 $n_1$ と、受信センサ $M_i$ の群を含む平面方程式の法線 $n_2$ と、に基づいて、第1物体21及び第2物体22の相対角度 $\theta$ を演算する( $S19$ )。 30

【0038】

( $S12$ )～( $S19$ )の動作を計測が終了するまで繰り返すことにより、空間内における第1物体21及び第2物体22の相対位置関係をリアルタイムで把握することができる( $S20, END$ )。

【0039】

(第2実施形態)

図8に基づいて、第2実施形態に係る空間位置計測装置を説明する。

第2実施形態に係る空間位置計測装置は、送信センサ $S_j$ の群及び受信センサ $M_i$ の群は、それぞれ第1物体21及び第2物体22に着脱自在なアタッチメント23に配置されている。 40

なお、図8において図2と共通の構成又は機能を有する部分は、同一符号で示し、重複する説明を省略する。

これにより、第1物体21及び第2物体22に対する送信センサ $S_j$ の群及び受信センサ $M_i$ の群の取り付けが容易になる。

【0040】

以下、各実施形態に係る空間位置計測装置のその他の適用例について列挙する。

(1) 金属溶接時の溶接棒の入射角度について、再現性、リアルタイム制御性の確保と製造再現性の向上。 50

( 2 ) 自動車の駆動部に配備されているサスペンション、ユニバーサルジョイント及びロボットに配備される自在関節部の位置・角度・向きの状態把握。

( 3 ) C A D (Computer Aided Design) システムのデータ入力ツールにおける位置・角度・向きの情報入力。

( 4 ) コンピュータシステムやコンピュータゲームシステムの三次元的な情報ポインタの操作ツール ( コントローラ ) における位置・角度・向きの情報入力。

( 5 ) 超音波探傷 ( U T : Ultrasonic Testing ) システムにおいて、プローブを自在な位置・角度・向きに配備して観測することを可能にする撮影自由度の向上。

( 6 ) 外観探傷 ( V T : Visual Testing ) システムにおいて、C C D カメラやC M O S カメラを自在な位置・角度・向きに配備して観測することを可能にする撮影自由度の向上。

( 7 ) 自在な位置・角度・向きから計測することを可能にする渦電流探傷 ( E T : Eddy Current Testing ) システム。

( 8 ) 自在な位置・角度・向きから計測することを可能にする放射線透過探傷 ( R T : Radiographic Testing ) システム。

( 9 ) 光学カメラ ( テレビカメラ含む ) 、顕微鏡、望遠鏡、プリズム、鏡、光ファイバークーブルの先端、レーダー発信装置、レーザー発信装置、放射線計数管、光電子増倍管、分光器 ( グレーティング ) といった観測装置類の配置における位置・角度・向きの再現性向上。

( 1 0 ) 光学カメラ ( テレビカメラ含む ) 、顕微鏡、望遠鏡、プリズム、鏡、光ファイバークーブルの先端、レーダー発信装置、レーザー発信装置、放射線計数管、光電子増倍管、分光器 ( グレーティング ) といった観測装置類における位置・角度・向き ( オリエンテーション ) のリアルタイム制御。

( 1 1 ) X 線 (  $\gamma$  線、中性子線 ) C T システムにおいて、照射ヘッドとインテンシファイア ( ガイガーカウンタやシンチレーション検出器など ) の機械的軌道を、円軌道に限定することなく、自在な位置・角度・向きに配備して撮影することによる撮影自由度の向上。

( 1 2 ) M R I システムにおいて、核磁気共鳴装置やインテンシファイア ( 電波受信機など ) の位置・角度・向きを自在に配備して観測することによる撮影自由度の向上。

#### 【 0 0 4 1 】

以上述べた少なくともひとつの実施形態の空間位置計測装置によれば、超音波による距離計測を行うことにより、至近距離にある二つの物体の相対位置をリアルタイムで認識しかつ小規模で実現することが可能となる。

#### 【 0 0 4 2 】

本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更、組み合わせを行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれると同様に、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれるものである。

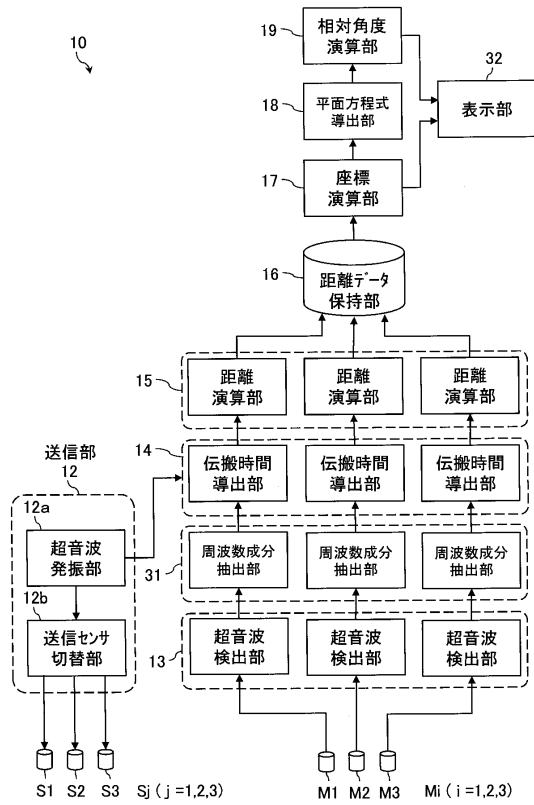
また、空間位置計測装置の構成要素は、コンピュータのプロセッサで実現することも可能であり、空間位置計測プログラムにより動作させることが可能である。

#### 【 符号の説明 】

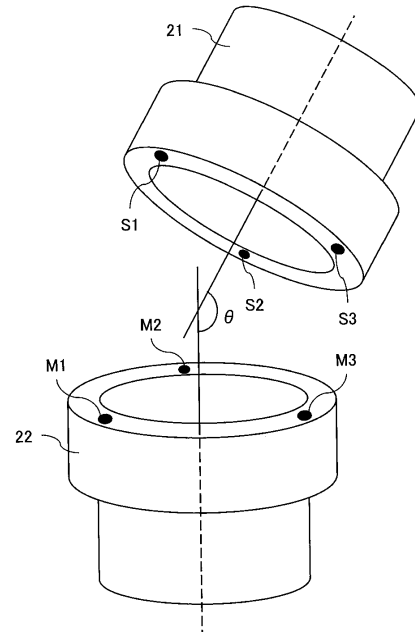
#### 【 0 0 4 3 】

1 0 ... 空間位置計測装置、1 2 ... 送信部、1 2 a ... 超音波発振部、1 2 b ... 送信センサ切替部、1 3 ... 超音波検出部 ( 検出部 ) 、1 4 ... 伝搬時間導出部 ( 導出部 ) 、1 5 ... 距離演算部、1 6 ... 距離データ保持部 ( 保持部 ) 、1 7 ... 座標演算部、1 8 ... 平面方程式導出部 ( 導出部 ) 、1 9 ... 相対角度演算部、2 1 ... 第 1 物体、2 2 ... 第 2 物体、2 3 ... アタッチメント、3 1 ... 周波数成分抽出部 ( 抽出部 ) 、3 2 ... 表示部、 $M_i$  ... 受信センサ、 $S_j$  ... 送信センサ。

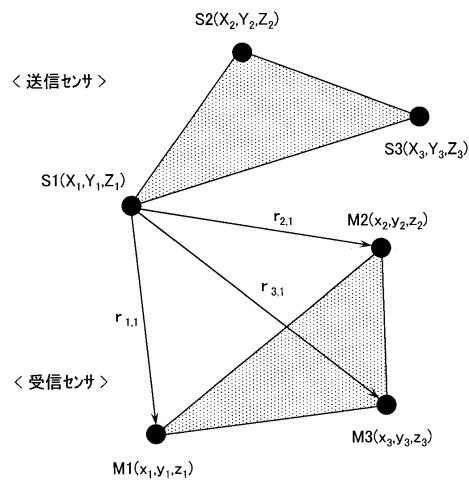
【図 1】



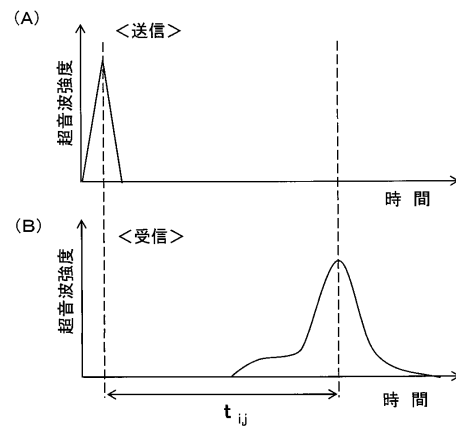
【図 2】



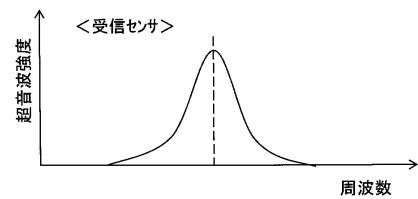
【図 3】



【図 4】



【図 5】



【図 6】

$$\frac{\partial r_{ij}}{\partial x_i} = \frac{-(X_j - x_{i0})}{\sqrt{(X_j - x_{i0})^2 + (Y_j - y_{i0})^2 + (Z_j - z_{i0})^2}} = \alpha_{ij} \quad (5a)$$

$$\frac{\partial r_{ij}}{\partial y_i} = \frac{-(Y_j - y_{i0})}{\sqrt{(X_j - x_{i0})^2 + (Y_j - y_{i0})^2 + (Z_j - z_{i0})^2}} = \beta_{ij} \quad (5b)$$

$$\frac{\partial r_{ij}}{\partial z_i} = \frac{-(Z_j - z_{i0})}{\sqrt{(X_j - x_{i0})^2 + (Y_j - y_{i0})^2 + (Z_j - z_{i0})^2}} = \gamma_{ij} \quad (5c)$$

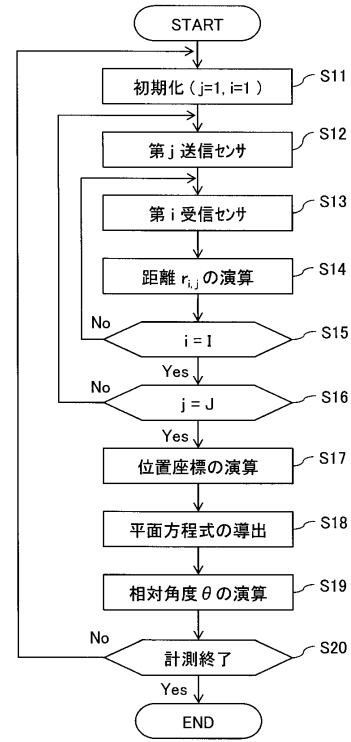
$$\begin{pmatrix} \Delta r_{i1} \\ \Delta r_{i2} \\ \Delta r_{i3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_{i1} & \beta_{i1} & \gamma_{i1} \\ \alpha_{i2} & \beta_{i2} & \gamma_{i2} \\ \alpha_{i3} & \beta_{i3} & \gamma_{i3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta x_i \\ \Delta y_i \\ \Delta z_i \end{pmatrix} \quad (6a)$$

$$\begin{pmatrix} \Delta x_i \\ \Delta y_i \\ \Delta z_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_{i1} & \beta_{i1} & \gamma_{i1} \\ \alpha_{i2} & \beta_{i2} & \gamma_{i2} \\ \alpha_{i3} & \beta_{i3} & \gamma_{i3} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \Delta r_{i1} \\ \Delta r_{i2} \\ \Delta r_{i3} \end{pmatrix} \quad (6b)$$

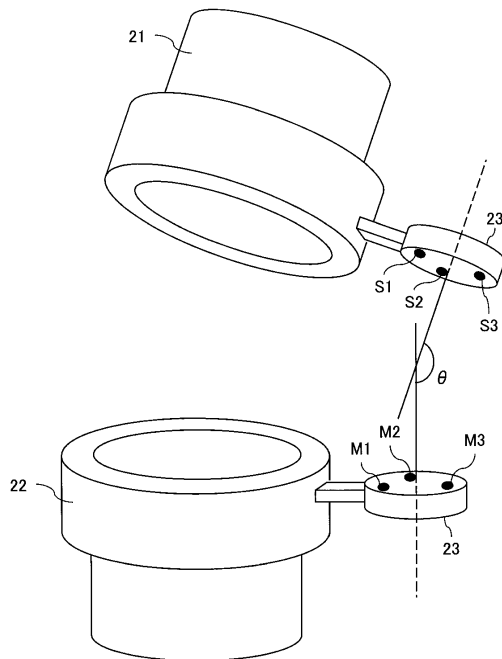
$$\theta = \cos^{-1} \left( \frac{n_1 \cdot n_2}{|n_1| |n_2|} \right) \quad (11a)$$

$$= \cos^{-1} \left( \frac{ae+bf+cg}{\sqrt{a^2+b^2+c^2} \sqrt{e^2+f^2+g^2}} \right) \quad (11b)$$

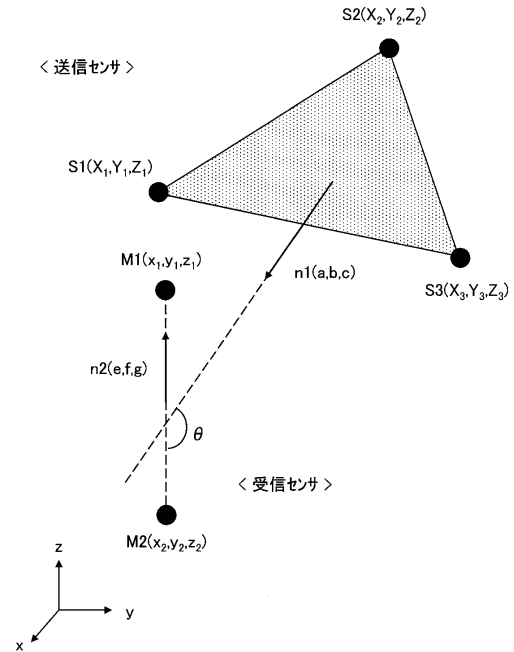
【図 7】



【図 8】



【図 9】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平 0 6 - 0 8 2 2 4 2 ( J P , A )  
特開 2 0 1 2 - 0 3 2 3 1 6 ( J P , A )  
特開 2 0 0 6 - 0 5 8 2 0 5 ( J P , A )  
特開昭 5 9 - 0 7 7 8 4 0 ( J P , A )  
特開昭 6 1 - 2 9 6 8 9 9 ( J P , A )  
特開平 0 8 - 2 0 6 1 1 6 ( J P , A )

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)  
G 0 1 B 1 7 / 0 0  
G 0 1 S 5 / 3 0