

## 明 細 書

発明の名称：測位装置、測位方法、及び、測位プログラム

### 技術分野

[0001] 本開示は、測位装置、測位方法、及び、測位プログラムに関する。

### 背景技術

[0002] 複数の基地局が設置されている空間内に存在する端末であって、複数の基地局の各々と無線通信を実行する端末を、複数の基地局の各々と端末とが成す相対角度に基づいて三次元測位する技術がある。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0003] 非特許文献1：Futa Watanabe, “Wireless Sensor Network Localization Using AoA Measurements with Two-Step Error Variance-Weighted Least Squares,” IEEE ACCESS, DOI:10.1109/ACCESS.2021.3050309

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0004] 非特許文献1は、端末と、各基地局との相対角度の情報に基づいて端末の位置を測位する技術を開示している。非特許文献1が開示する技術によれば、端末が存在するエリアの形状が完全な立方体ではない場合に誤差が大きくなるという課題があった。

[0005] 本開示は、各基地局と端末とが成す相対角度を用いた端末の三次元測位において、端末が存在するエリアの形状が完全な立方体ではない場合に誤差を小さくすることを目的とする。

#### 課題を解決するための手段

[0006] 本開示に係る測位装置は、

複数の基地局の各々の位置と、三次元空間において前記複数の基地局それぞれと通信する端末とが成す角度として観測された複数の観測角度それぞれを用いて算出されたベクトルであって、前記複数の観測角度の二次元方向についての角度に基づくベクトルである複数の二次元方向ベクトルと、前記複数の観測角度それぞれを用いて算出されたベクトルであって、前記複数の観測角度の三次元方向についての角度に基づくベクトルである複数の三次元方向ベクトルとを用いて前記端末の仮位置を求める仮位置算出部と、

前記複数の基地局それぞれの位置の二次元成分と、前記複数の二次元方向ベクトルと、前記複数の基地局それぞれの位置の二次元成分に対応する重みであって、前記複数の基地局それぞれの位置の二次元成分と前記仮位置の二次元成分とに基づいて定まる重みである複数の二次元重みとを用いて前記端末の二次元位置を求める二次元位置算出部と、

前記複数の基地局それぞれの位置の三次元成分と、前記複数の三次元方向ベクトルと、前記複数の基地局それぞれの位置の三次元成分に対応する重みであって、前記複数の基地局それぞれの位置の三次元成分と前記仮位置の三次元成分とに基づいて定まる重みである複数の三次元重みとを用いて前記端末の三次元位置を求める三次元位置算出部と、

前記端末の位置の二次元成分として、前記二次元位置と、前記三次元位置の二次元成分との加重平均を求め、前記端末の位置の三次元目の成分として前記三次元位置の三次元目の成分を採用する位置統合部とを備える。

### 発明の効果

[0007] 本開示によれば、端末の位置として、端末の二次元位置と端末の三次元位置とを統合した位置を求めるので、端末の三次元位置に含まれる誤差の影響が小さくなる。そのため、本開示によれば、各基地局と端末とが成す相対角度を用いた端末の三次元測位において、端末が存在するエリアの形状が完全な立方体ではない場合に誤差を小さくすることができる。

### 図面の簡単な説明

- [0008] [図1]実施の形態1に係る測位装置100の構成例を示す図。  
[図2]実施の形態1に係る測位システム90の構成例を示す図。  
[図3]実施の形態1に係る測位システム90の構成例を示す図。  
[図4]実施の形態1に係る測位システム90の構成例を示す図。  
[図5]実施の形態1に係る測位システム90の構成例を示す図。  
[図6]実施の形態1に係る測位システム90の構成例を示す図。  
[図7]実施の形態1に係る測位装置100のハードウェア構成例を示す図。  
[図8]実施の形態1に係る測位装置100の動作を示すフローチャート。  
[図9]端末と基地局との位置関係の具体例を示す図。  
[図10]ルックアップテーブルの具体例を示す図。  
[図11]端末が配置されているエリアの具体例を示す図。  
[図12]端末と基地局との位置関係の具体例を示す図。  
[図13]実施の形態1の変形例に係る測位装置100のハードウェア構成例を示す図。  
[図14]実施の形態2に係る測位装置100の構成例を示す図。  
[図15]実施の形態2に係る測位装置100の動作を示すフローチャート。  
[図16]実施の形態3に係る測位装置100の構成例を示す図。  
[図17]実施の形態3に係る測位装置100の動作を示すフローチャート。

### 発明を実施するための形態

- [0009] 実施の形態の説明及び図面において、同じ要素及び対応する要素には同じ符号を付している。同じ符号が付された要素の説明は、適宜に省略又は簡略化する。図中の矢印はデータの流れ又は処理の流れを主に示している。また、「部」を、「回路」、「工程」、「手順」、「処理」又は「サーキットリ」に適宜読み替えてもよい。

- [0010] 実施の形態1.

以下、本実施の形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。

- [0011] \*\*\*構成の説明\*\*\*

図1は、本実施の形態に係る測位装置100の構成例を示している。測位

装置 100 は、本図に示すように、相対角度取得部 110 と、仮位置算出部 120 と、基地局情報取得部 130 と、二次元位置算出部 140 と、三次元位置算出部 150 と、位置統合部 160 と、パラメータ変更部 170 とを備える。なお、本明細書において、三次元測位を単に測位と表記することもある。

なお、測位装置 100 は、端末と複数の基地局の各々とは成す相対角度が観測されている場合において、端末の三次元位置を推定する装置である。ここで、複数の基地局の各々は空間内に固定されており、複数の基地局の各々の三次元位置は既知であるものとする。また、端末と複数の基地局の各々の間で無線通信が行われ、端末と複数の基地局の各々とは成す相対角度は無線通信に基づいて観測される。無線通信は、具体例として、Bluetooth（登録商標）規格に従う通信である。端末は複数あってもよく、端末が複数ある場合において測位装置 100 は各端末の位置を推定する。なお、以下の説明において、三次元空間及びLOS（Line of Sight）環境が想定されている。

[0012] 相対角度取得部 110 は、端末と、各基地局との相対角度を示す情報を取得する。

[0013] 仮位置算出部 120 は、相対角度取得部 110 が取得した情報と、基地局情報取得部 130 が取得した情報とに基づいて端末の仮位置を算出する。具体例として、仮位置算出部 120 は、複数の二次元方向ベクトルと、複数の三次元方向ベクトルとを用いて端末の仮位置を求める。複数の二次元方向ベクトルは、複数の基地局の各々の位置と、三次元空間において複数の基地局それぞれと通信する端末とは成す角度として観測された複数の観測角度それぞれを用いて算出されたベクトルであって、複数の観測角度の二次元方向についての角度に基づくベクトルである。複数の三次元方向ベクトルは、複数の観測角度それぞれを用いて算出されたベクトルであって、複数の観測角度の三次元方向についての角度に基づくベクトルである。二次元成分は、ベクトルの成分のうち二次元空間に対応する成分である。三次元成分は、ベクトル

ルの成分のうち三次元空間に対応する成分である。

- [0014] 基地局情報取得部 130 は、各基地局に対応する基地局情報を取得する。  
基地局情報は、各基地局の位置を示す情報と、基地局 ID (Identifier) を示す情報とを含む。
- [0015] 二次元位置算出部 140 は、仮位置算出部 120 が算出した仮位置に基づいて端末の二次元位置を算出する。二次元位置は、二次元形式で表される位置である。二次元位置算出部 140 は、複数の基地局それぞれの位置の二次元成分と、複数の二次元方向ベクトルと、複数の二次元重みとを用いて端末の二次元位置を求める。複数の二次元重みは、複数の基地局それぞれの位置の二次元成分に対応する重みであって、複数の基地局それぞれの位置の二次元成分と仮位置の二次元成分とに基づいて定まる重みである。複数の二次元重みそれぞれは、複数の基地局それぞれの位置の二次元成分と仮位置の二次元成分とが成す距離の逆数に応じた値であってもよい。
- [0016] 三次元位置算出部 150 は、仮位置算出部 120 が算出した仮位置に基づいて端末の三次元位置を算出する。三次元位置は、三次元形式で表される位置である。三次元位置算出部 150 は、複数の基地局それぞれの位置の三次元成分と、複数の三次元方向ベクトルと、複数の三次元重みとを用いて端末の三次元位置を求める。複数の三次元重みは、複数の基地局それぞれの位置の三次元成分に対応する重みであって、複数の基地局それぞれの位置の三次元成分と仮位置の三次元成分とに基づいて定まる重みである。複数の三次元重みそれぞれは、複数の基地局それぞれの位置の三次元成分と仮位置の三次元成分とが成す距離の逆数に応じた値であってもよい。
- [0017] 位置統合部 160 は、二次元位置算出部 140 が算出した二次元位置と、三次元位置算出部 150 が算出した三次元位置とを統合することにより端末の位置を算出する。
- [0018] パラメータ変更部 170 は、位置統合部 160 が用いるパラメータの値を適宜変更する。具体例として、パラメータ変更部 170 は、加重平均において用いるパラメータである加重平均パラメータの値を、対象エリアの形状に

応じた値に変更する。対象エリアは、端末が配置されているエリアであり、仮位置に基づいて定められたエリアである。パラメータ変更部170は、対象エリアの長手方向の長さに対する対象エリアの短手方向の長さの比と、対象エリアの二次元における対角方向の長さに対する対象エリアの高さの比とに応じて加重平均パラメータの値を変更してもよい。パラメータ変更部170は、条件ごとに加重平均パラメータの値を示すルックアップテーブルを参照して加重平均パラメータの値を変更してもよい。

[0019] 測位装置100を備える測位システム90の構成例として様々な種類が想定される。以下、図を参照して測位システム90の代表的な構成例を説明する。なお、測位装置100は、各例に示される構成要素のいずれか、又は、構成要素の少なくともいずれかに適宜分散して備えられる。

図2は、測位システム90の具体例を示している。測位システム90は、N個（Nは2以上の整数）の基地局と、端末とを備える。

本例において、まず、端末は端末IDを示す情報を各基地局に送信する。次に、各基地局は、端末から端末IDを示す情報を受信し、受信した情報と各基地局の観測データとに基づいてAOA（Angle-Of-Arrival）計算を実行し、AOA計算の結果と、各基地局IDとの各々を示す情報を端末に送信する。次に、端末は、各基地局から受信した情報に基づいて測位計算を実行する。ここで、測位計算は端末の三次元測位に関する計算である。

[0020] 図3は、測位システム90の具体例を示している。図3に係る測位システム90に関して、図2に示す測位システム90との差異を主に説明する。測位システム90は、測位計算の一部を実行するロケータをさらに備える。ロケータは、測位計算を行う専用装置である。

本例において、端末は、測位計算の一部の実行をロケータに委譲するために各端末から受信した情報をロケータに送信する。ロケータは、端末から受信した情報に基づいて測位計算の一部を実行し、測位計算の一部を実行した結果を端末に送信する。次に、端末は、各基地局から受信した情報と

、ロケータから受信した情報とに基づいて、測位計算のうちロケータに委譲していない部分を実行する。

[0021] 図4は、測位システム90の具体例を示している。図4に係る測位システム90に関して、図3に示す測位システム90との差異を主に説明する。ロケータは、端末1Dと、AOA計算の結果と、各基地局1Dとの各々を示す情報を各基地局から受信し、受信した情報に基づいて測位計算を実行し、測位計算の結果を端末に送信する。なお、端末は測位計算を実行しない。

[0022] 図5は、測位システム90の具体例を示している。測位システム90は、N個の基地局と、端末とを備える。

本例において、まず、各基地局は、AOD (Angle-Of-Departure) 計算を実行し、AOD計算の結果と、各基地局1Dとの各々を示す情報を端末に送信する。次に、端末は、各基地局から受信した情報に基づいて測位計算を実行する。

[0023] 図6は、測位システム90の具体例を示している。図6に係る測位システム90に関して、図5に示す測位システム90との差異を主に説明する。測位システム90は、ロケータをさらに備える。

本例に係る測位システム90の動作は、図3に示す測位システム90の動作と、図5に示す測位システム90の動作とを適宜組み合わせた動作である。

[0024] 図7は、本実施の形態に係る測位装置100のハードウェア構成例を示している。測位装置100は、コンピュータから成る。測位装置100は、複数のコンピュータから成ってもよい。

[0025] 測位装置100は、本図に示すように、プロセッサ11と、メモリ12と、補助記憶装置13と、入出力IF (Interface) 14と、通信装置15等のハードウェアを備えるコンピュータである。これらのハードウェアは、信号線19を介して適直接続されている。

[0026] プロセッサ11は、演算処理を行うIC (Integrated Circuit) であり、かつ、コンピュータが備えるハードウェアを制御する。

プロセッサ１１は、具体例として、CPU (Central Processing Unit)、DSP (Digital Signal Processor)、又はGPU (Graphics Processing Unit) である。

測位装置１００は、プロセッサ１１を代替する複数のプロセッサを備えてもよい。複数のプロセッサは、プロセッサ１１の役割を分担する。

[0027] メモリ１２は、典型的には、揮発性の記憶装置である。メモリ１２は、主記憶装置又はメインメモリとも呼ばれる。メモリ１２は、具体例として、RAM (Random Access Memory) である。メモリ１２に記憶されたデータは、必要に応じて補助記憶装置１３に保存される。

[0028] 補助記憶装置１３は、典型的には、不揮発性の記憶装置である。補助記憶装置１３は、具体例として、ROM (Read Only Memory)、HDD (Hard Disk Drive)、又はフラッシュメモリである。補助記憶装置１３に記憶されたデータは、必要に応じてメモリ１２にロードされる。

メモリ１２及び補助記憶装置１３は一体的に構成されていてもよい。

[0029] 入出力ＩＦ１４は、入力装置及び出力装置が接続されるポートである。入出力ＩＦ１４は、具体例として、USB (Universal Serial Bus) 端子である。入力装置は、具体例として、キーボード及びマウスである。出力装置は、具体例として、ディスプレイである。

[0030] 通信装置１５は、レシーバ及びトランスミッタである。通信装置１５は、具体例として、通信チップ又はNIC (Network Interface Card) である。

[0031] 測位装置１００の各部は、他の装置等と通信する際に、入出力ＩＦ１４及び通信装置１５を適宜用いてもよい。

[0032] 補助記憶装置１３は、測位プログラムを記憶している。測位プログラムは、測位装置１００が備える各部の機能をコンピュータに実現させるプログラムである。測位プログラムは、メモリ１２にロードされて、プロセッサ１１

によって実行される。測位装置１００が備える各部の機能は、ソフトウェアにより実現される。

[0033] 測位プログラムを実行する際に用いられるデータと、測位プログラムを実行することによって得られるデータ等は、記憶装置に適宜記憶される。測位装置１００の各部は、適宜記憶装置を利用する。記憶装置は、具体例として、メモリ１２と、補助記憶装置１３と、プロセッサ１１内のレジスタと、プロセッサ１１内のキャッシュメモリとの少なくとも１つから成る。なお、データと、情報とは、同等の意味を有することもある。記憶装置は、コンピュータと独立したものであってもよい。

メモリ１２及び補助記憶装置１３の機能は、他の記憶装置によって実現されてもよい。

[0034] 測位プログラムは、コンピュータが読み取り可能な不揮発性の記録媒体に記録されていてもよい。不揮発性の記録媒体は、具体例として、光ディスク又はフラッシュメモリである。測位プログラムは、プログラムプロダクトとして提供されてもよい。

[0035] \*\*\*動作の説明\*\*\*

測位装置１００の動作手順は、測位方法に相当する。また、測位装置１００の動作を実現するプログラムは、測位プログラムに相当する。

[0036] 図８は、測位装置１００の動作の一例を示すフローチャートである。本図を参照して測位装置１００の動作を説明する。

[0037] (ステップＳ１１)

相対角度取得部１１０は、端末と、各基地局との相対角度を示す情報を取得する。

[0038] (ステップＳ１２)

基地局情報取得部１３０は、各基地局に対応する基地局情報を取得する。

[0039] (ステップＳ１３)

仮位置算出部１２０は、相対角度取得部１１０が取得した相対角度を示す情報と、基地局情報取得部１３０が取得した基地局情報とに基づいて端末の

仮位置を算出する。

ここで、仮位置の算出例を説明する。〔数 1〕は各基地局の位置を表しており、〔数 2〕は端末の真の位置を表している。また、〔数 3〕は A O A の真値を表している。ここで、 $\phi_i^\circ$  は真の方位角を表しており、 $\phi_i^\circ$  は真の仰角を表している。図 9 は、端末と添え字  $i$  に対応する基地局との位置関係の具体例を、これらの記号を用いて示している。

[0040] 〔数 1〕

$$\mathbf{a}_i = [x_i, y_i, z_i]^T \in \mathbb{R}^3, \text{ for } i = 1, \dots, N.$$

〔数 2〕

$$\mathbf{p} = [x_o, y_o, z_o]^T \in \mathbb{R}^3.$$

〔数 3〕

$$\begin{aligned} \phi_i^\circ &= \arctan\left(\frac{y_o - y_i}{x_o - x_i}\right), \\ \psi_i^\circ &= \arccos\left(\frac{z_o - z_i}{d_i}\right), \quad d_i = \|\mathbf{p} - \mathbf{a}_i\|. \end{aligned}$$

[0041] このとき、仮位置算出部 120 は、仮位置を〔数 4〕に示すように算出する。ここで、〔数 4〕の各記号は〔数 5〕に示す通りである。 $\mathbf{c}_{1i}$  は二次元方向ベクトルに相当する。 $\mathbf{c}_{2i}$  は三次元方向ベクトルに相当する。 $\phi_i$  は二次元方向についての角度に相当する。 $\phi_i$  及び  $\psi_i$  は三次元方向についての角度に相当する。

[0042] 〔数 4〕

$$\hat{\mathbf{p}}_{\text{LS}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{b} \in \mathbb{R}^3$$

[数5]

$$\begin{aligned}
\mathbf{c}_{1i} &= [-\sin(\phi_i), \cos(\phi_i), 0]^T \in \mathbb{R}^3, \\
\mathbf{c}_{2i} &= [\cos(\phi_i)\cos(\psi_i), \sin(\phi_i)\cos(\psi_i), -\sin(\psi_i)]^T \in \mathbb{R}^3, \\
\mathbf{A} &= \begin{bmatrix} \mathbf{c}_{11}^T \\ \vdots \\ \mathbf{c}_{1N}^T \\ \mathbf{c}_{21}^T \\ \vdots \\ \mathbf{c}_{2N}^T \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{2N \times 3}, \mathbf{b} = \begin{bmatrix} \mathbf{c}_{11}^T \mathbf{a}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{c}_{1N}^T \mathbf{a}_N \\ \mathbf{c}_{21}^T \mathbf{a}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{c}_{2N}^T \mathbf{a}_N \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{2N}.
\end{aligned}$$

[0043] (ステップS 1 4)

二次元位置算出部 1 4 0 は、仮位置算出部 1 2 0 が算出した仮位置に基づいて端末の二次元位置を算出する。

ここで、端末の二次元位置の算出例を説明する。二次元位置算出部 1 4 0 は、端末の二次元位置を [数 6] に示すように算出する。ここで、[数 6] の各記号は [数 7] に示す通りである。なお、 $\mathbf{c}_{1i}$ 、 $\mathbf{c}_{2i}$ 、 $\mathbf{c}_{\sim 1i}$  は直交ベクトルであればよいので、これらの各項の符号を反転させてもよい。なお、使用することができる文字の都合上、数式に示されている記号が文中において適宜変形して示されていることもある。 $w_{1i}$  は二次元重みに相当する。 $\mathbf{a}_i$  (1 : 2) は各基地局の位置の二次元成分を示している。 $\mathbf{c}_{\sim 1i}$  は二次元方向ベクトルに相当する。

[0044] [数6]

$$\hat{\mathbf{p}}_{\text{TELS}(2D)} = (\tilde{\mathbf{A}}^T \tilde{\mathbf{W}} \tilde{\mathbf{A}})^{-1} \tilde{\mathbf{A}}^T \tilde{\mathbf{W}} \tilde{\mathbf{b}} \in \mathbb{R}^2$$

[数7]

$$\begin{aligned}
\tilde{\mathbf{W}} &= \text{diag}(w_{11}, \dots, w_{1N}) \in \mathbb{R}^{N \times N}, \\
w_{1i} &= \frac{\sigma}{V[\epsilon_{1i}]} \cong \frac{1}{\|\hat{\mathbf{p}}_{\text{LS}}(1:2) - \mathbf{a}_i(1:2)\|^2}, \\
\tilde{\mathbf{c}}_{1i} &= [-\sin(\phi_i), \cos(\phi_i)]^T \in \mathbb{R}^2, \\
\tilde{\mathbf{A}} &= \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{c}}_{11}^T \\ \vdots \\ \tilde{\mathbf{c}}_{1N}^T \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{N \times 2}, \tilde{\mathbf{b}} = \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{c}}_{11}^T \mathbf{a}_1(1:2) \\ \vdots \\ \tilde{\mathbf{c}}_{1N}^T \mathbf{a}_N(1:2) \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^N.
\end{aligned}$$

[0045] (ステップS 1 5)

三次元位置算出部 150 は、仮位置算出部 120 が算出した仮位置に基づいて端末の三次元位置を算出する。

ここで、端末の三次元位置の算出例を説明する。三次元位置算出部 150 は、端末の三次元位置を [数 8] に示すように算出する。ここで、[数 8] の各記号は [数 9] に示す通りである。 $w_{2i}$  は三次元重みに相当する。 $a_i$  は各基地局の位置の三次元成分を示している。

[0046] [数 8]

$$\hat{\mathbf{p}}_{\text{TELS}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{W} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{W} \mathbf{b} \in \mathbb{R}^3$$

[数 9]

$$\mathbf{W} = \text{diag}(w_{11}, \dots, w_{1N}, w_{21}, \dots, w_{2N}) \in \mathbb{R}^{2N \times 2N},$$

$$w_{2i} = \frac{\sigma}{V[\epsilon_{2i}]} \cong \frac{1}{\|\hat{\mathbf{p}}_{\text{LS}} - \mathbf{a}_i\|^2}.$$

[0047] (ステップ S 16)

パラメータ変更部 170 は、位置統合部 160 が用いるパラメータの値を変更する。具体例として、パラメータ変更部 170 は [数 10] に示すパラメータ  $\mu$  の値を変更する。パラメータ  $\mu$  は加重平均パラメータに相当する。具体例として、図 10 に示すようなルックアップテーブルを事前に実行したシミュレーション等に基づいて用意しておき、パラメータ変更部 170 は用意したルックアップテーブルに従ってパラメータ  $\mu$  の値を変更する。ここで、図 10 に示されている記号は端末が配置されているエリアの各辺の長さを示している。なお、当該エリアは、端末の仮位置を含むよう定義された直方体形状のエリアであり、全ての基地局を含まなくてもよく、端末が配置されている空間の形状と異なってもよい。また、パラメータ変更部 170 は、本図の縦軸に示す演算と横軸に示す演算との各々に従って値を算出し、この際、算出した各値を四捨五入してもよい。なお、 $\text{sqrt}(L_1^2 + L_2^2)$  は対象エリアの二次元における対角方向の長さに相当する。

図 11 は、当該エリアの具体例を示している。 $L_1$  は当該エリアの長手方向の長さを表しており、 $L_2$  は当該エリアの短手方向の長さを表しており、 $L_3$

は当該エリアの高さを表している。高さは、当該エリアの鉛直方向における長さでなくてもよい。パラメータ変更部170は、具体例として、仮位置算出部120が算出した仮位置と、各基地局の位置とに基づいて $L_1$ と $L_2$ と $L_3$ とを求める。

[0048] (ステップS17)

位置統合部160は、二次元位置と三次元位置とを統合することにより端末の位置を算出する。なお、取得することができるAOA又はAODの数が少ない場合等において、仮位置算出部120と、二次元位置算出部140と、三次元位置算出部150との少なくともいずれかの計算が失敗する可能性がある。これらの少なくともいずれかの計算が失敗した場合において、測位装置100は、測位計算の結果として測位計算が失敗したことが分かるような値を出力する。当該値は、具体例として、Null又は $[-999, -999, -999]$ である。

ここで、位置統合部160による端末の位置の算出例を説明する。位置統合部160は、[数10]に示すように端末の位置を算出する。位置統合部160が[数10]を採用する場合、位置統合部160は、端末の位置の二次元成分として、二次元位置と、三次元位置の二次元成分との加重平均を求め、端末の位置の三次元目の成分として三次元位置の三次元目の成分を採用する。

[0049] [数10]

$$\hat{\mathbf{p}}_{\text{ITELS}} = [\mu \hat{\mathbf{p}}_{\text{TELS}(2D)}^T(1:2) + (1 - \mu) \hat{\mathbf{p}}_{\text{TELS}}^T(1:2), \hat{\mathbf{p}}_{\text{TELS}}(3)]^T \in \mathbb{R}^3, \\ 0 \leq \mu \leq 1.$$

[0050] \*\*\*実施の形態1の効果の説明\*\*\*

まず、 $L_1/L_2$ の値と $(\text{sqrt}(L_1^2 + L_2^2))/L_3$ の値との少なくともいずれかの大きさによっては端末位置の測位精度が低下する恐れがあることについて説明する。

直交ベクトル $\mathbf{c}_{1i}$ の第1成分に $\sin(\phi_i)$ が含まれる。 $\sin(\phi_i)$ を真値まわりでテイラー展開し、1次の項で近似すると[数11]が得られ

る。ここで、AOAの測定誤差に起因するズレである $n_{\phi_i}$ と $\cos(\phi_i^\circ)$ とに注目する。

[0051] [数11]

$$\sin(\phi_i) \cong \sin(\phi_i^\circ) + n_{\phi_i} \cos(\phi_i^\circ)$$

[0052] まず、 $n_{\phi_i}$ に注目する。 $n_{\phi_i}$ は測定誤差そのものである。よって、測定誤差の標準偏差 $\sigma_{\phi_i}$ の値が大きくなるほど、 $n_{\phi_i}$ の絶対値は大きくなる。

次に、 $\cos(\phi_i^\circ)$ に注目する。 $N$ 個の基地局は独立であるので、取り得る $|\cos(\phi_i^\circ)|$ の期待値は[数12]の通り表すことができる。ここで、端末及び各基地局が空間内にランダムに配置されると仮定した。

また、方位角と座標系との関係は図12に示す通りである。

[0053] [数12]

$$\begin{aligned} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E[|\cos(\phi_i^\circ)|] &= E[|\cos(\phi_i^\circ)|] \\ &= \frac{1}{\text{vol}(\mathcal{D}_1)} \iint_{\mathcal{D}_1} \frac{x_a}{\sqrt{x_a^2 + y_a^2}} dx_a dy_a \\ &= \frac{1}{2} \left( \sqrt{1+u^2} + \frac{1}{u} \log(u + \sqrt{1+u^2}) - u \right) \\ &= f(u), \\ \text{where } \mathcal{D}_1 &= [0, L_1] \times [0, L_2], u = \frac{L_2}{L_1}. \end{aligned}$$

[0054] 次に、 $f(u)$ と $u$ の関係性を確かめるために $f(u)$ の微分を求めると、[数13]が得られる。

[0055] [数13]

$$\begin{aligned} f'(u) &= \frac{u\sqrt{1+u^2} - u^2 - \log(u + \sqrt{1+u^2})}{2u^2} \\ &= \frac{f_1(u)}{f_2(u)} \end{aligned}$$

[0056] [数13]の分母である $f_2(u)$ は常に正値をとる。そこで、[数13]の分子である $f_1(u)$ の微分を求めると、[数14]が得られる。

[0057] [数14]

$$f_1'(u) = \frac{2u(u - \sqrt{1+u^2})}{\sqrt{1+u^2}}$$

[0058]  $u > 1$  にて、 $f_1'(u)$  は常に負の値をとる。よって、 $u > 1$  にて、 $f_1(u)$  は単調減少関数である。また、 $f_1(1) = \sqrt{2} - 1 - \log(1 + \sqrt{2}) < 0$  であるので、 $u > 1$  にて、 $f'(u)$  は常に負の値をとる。よって、 $u > 1$  にて、 $f(u)$  は単調減少関数である。これより、 $u = L_2/L_1$  の値が大きくなると、 $E[|\cos(\phi_i)|]$  の値は小さくなる、言い換えると、 $1/u = L_1/L_2$  の値が大きくなると、 $E[|\cos(\phi_i)|]$  の値は大きくなる。

以上の結果より、 $\sigma_{\phi_i}$  の値が大きい、あるいは、 $L_1/L_2$  の値が大きいとき、 $\sin(\phi_i)$  の値は真値に対して大きくズレる可能性があるといえる。そのため、 $c_{1i}$  と  $c_{2i}$  とを併用することによって、 $\sin(\phi_i)$  の影響が相対的に小さくなるため、端末位置の測位精度が高くなると考えられる。

[0059] 非特許文献1が開示するTELS (Two-step Error variance-weighted Least Squares) において用いられる直交ベクトル  $c_{2i}$  の第1成分及び第2成分には、 $\cos(\phi_i)$  が含まれる。 $\cos(\phi_i)$  を真値まわりでテイラー展開し、1次の項で近似すると[数15]が得られる。ここで、AOAの測定誤差に起因するズレである  $n_{\phi_i}$  と  $\sin(\phi_i)$  とに注目する。

[0060] [数15]

$$\cos(\psi_i) \cong \cos(\psi_i^o) - n_{\psi_i} \sin(\psi_i^o)$$

[0061] まず、 $n_{\phi_i}$  に注目する。 $n_{\phi_i}$  は測定誤差そのものである。よって、測定誤差の標準偏差  $\sigma_{\phi_i}$  の値が大きくなるほど、 $n_{\phi_i}$  の絶対値は大きくなる。

次に、 $\sin(\phi_i)$  に注目する。N個の基地局は独立であるので、取り得る  $|\sin(\phi_i)|$  の期待値は、[数16]の通り表すことができる。ここで、端末及び各基地局が空間内にランダムに配置されると仮定した。ま

た、仰角と座標系との関係は図 1 2 に示す通りである。

[0062] [数16]

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E[|\sin(\psi_i^o)|] &= E[|\sin(\psi_i^o)|] \\
 &= \frac{1}{\text{vol}(\mathcal{D}_2)} \iint_{\mathcal{D}_2} \frac{r_a}{\sqrt{r_a^2 + z_a^2}} dr_a dz_a \\
 &= \frac{1}{2} \left( \sqrt{1 + v^2} + \frac{1}{v} \log(v + \sqrt{1 + v^2}) - v \right) \\
 &= f(v), \\
 \text{where } \mathcal{D}_2 &= \left[ 0, \sqrt{L_1^2 + L_2^2} \right] \times [0, L_3], v = \frac{L_3}{\sqrt{L_1^2 + L_2^2}}
 \end{aligned}$$

[0063] 以上の結果より、上記と同様に、 $\sigma_{\phi_i}$ の値が大きい、あるいは、 $1/v = (\sqrt{L_1^2 + L_2^2})/L_3$ の値が大きいとき、 $\cos(\phi_i)$ は真値に対し大きくズレる可能性がある。そのため、 $c_{1i}$ と $c_{2i}$ とを併用するよりも、 $c_{1i}$ のみを利用する方が測位精度は高くなると考えられる。

なお、 $L_1/L_2$ の値が大きく、かつ、 $(\sqrt{L_1^2 + L_2^2})/L_3$ の値が大きい場合、 $c_{1i}$ と $c_{2i}$ とを併用することによって測位精度は高くなると考えられる。これは、 $c_{1i}$ のみを利用する場合、測位に用いる情報量が $2N$ から $N$ に半減し、 $c_{1i}$ に含まれるズレが端末の推定位置に与える影響が大きくなるためである。

[0064] 従って、本実施の形態によれば、 $c_{1i}$ と $c_{2i}$ とを適宜併用して端末の三次元測位を実行することにより、端末の三次元測位に関する誤差を少なくすることができる。また、三次元測位が行われる三次元空間の形状に応じてパラメータの値を柔軟に変更することにより、どのような三次元空間においても比較的高い精度で端末の三次元測位を実行することができる。

[0065] \*\*\*他の構成\*\*\*

<変形例 1>

測位装置 100 はパラメータ変更部 170 を備えなくてもよい。本変形例において、位置統合部 160 は所与のパラメータ値を用い、測位装置 100

はステップS 1 6 をスキップする。位置統合部 1 6 0 が用いるパラメータ値は、端末が配置されているエリアの形状と、事前のシミュレーション結果とに応じて適宜定めた値であってもよい。

[0066] <変形例 2>

図 1 3 は、本変形例に係る測位装置 1 0 0 のハードウェア構成例を示している。

測位装置 1 0 0 は、プロセッサ 1 1、プロセッサ 1 1 とメモリ 1 2、プロセッサ 1 1 と補助記憶装置 1 3、あるいはプロセッサ 1 1 とメモリ 1 2 と補助記憶装置 1 3 とに代えて、処理回路 1 8 を備える。

処理回路 1 8 は、測位装置 1 0 0 が備える各部の少なくとも一部を実現するハードウェアである。

処理回路 1 8 は、専用のハードウェアであってもよく、また、メモリ 1 2 に格納されるプログラムを実行するプロセッサであってもよい。

[0067] 処理回路 1 8 が専用のハードウェアである場合、処理回路 1 8 は、具体例として、単回路、複合回路、プログラム化したプロセッサ、並列プログラム化したプロセッサ、ASIC (Application Specific Integrated Circuit)、FPGA (Field Programmable Gate Array) 又はこれらの組み合わせである。

測位装置 1 0 0 は、処理回路 1 8 を代替する複数の処理回路を備えてもよい。複数の処理回路は、処理回路 1 8 の役割を分担する。

[0068] 測位装置 1 0 0 において、一部の機能が専用のハードウェアによって実現されて、残りの機能がソフトウェア又はファームウェアによって実現されてもよい。

[0069] 処理回路 1 8 は、具体例として、ハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、又はこれらの組み合わせにより実現される。

プロセッサ 1 1 とメモリ 1 2 と補助記憶装置 1 3 と処理回路 1 8 とを、総称して「プロセッシングサーキットリー」という。つまり、測位装置 1 0 0

の各機能構成要素の機能は、プロセッシングサードパーティーにより実現される。

他の実施の形態に係る測位装置 100 についても、本変形例と同様の構成であってもよい。

[0070] 実施の形態 2.

以下、主に前述した実施の形態と異なる点について、図面を参照しながら説明する。

[0071] \*\*\*構成の説明\*\*\*

図 14 は、本実施の形態に係る測位装置 100 の構成例を示している。実施の形態 1 に係る測位装置 100 に対する、本実施の形態に係る測位装置 100 の差異は、エリア情報入力部 180 を備える点である。

[0072] エリア情報入力部 180 は、端末と複数の基地局とが設置されているエリアの情報を受け付ける。具体例として、エリア情報入力部 180 は、対象エリアの長手方向の長さ、短手方向の長さ、高さとの各々を示す各辺の長さを示す情報を受け付ける。

[0073] パラメータ変更部 170 は、エリア情報入力部 180 が受け付けた情報を用いてパラメータ値を設定する。

[0074] \*\*\*動作の説明\*\*\*

図 15 は、測位装置 100 の動作の一例を示すフローチャートである。本図を参照して、主に実施の形態 1 に係る測位装置 100 の動作との差異を説明する。

[0075] (ステップ S21)

エリア情報入力部 180 は、図 11 に示す各辺の長さを示す情報を受け付け、受け付けた情報をパラメータ変更部 170 に送る。

[0076] (ステップ S16)

本ステップは、実施の形態 1 に係るステップ S16 と基本的に同じである。ただし、パラメータ変更部 170 は、エリア情報入力部 180 から受け取った情報を用いる。

[0077] \*\*\*実施の形態2の効果の説明\*\*\*

以上のように、本実施の形態によれば、端末と複数の基地局とが配置されているエリアの情報を適宜設定することができる。

[0078] 実施の形態3.

以下、主に前述した実施の形態と異なる点について、図面を参照しながら説明する。

[0079] \*\*\*構成の説明\*\*\*

図16は、本実施の形態に係る測位装置100の構成例を示している。本実施の形態に係る測位装置100の、実施の形態1に係る測位装置100に対する差異は、実施の形態1に係る測位装置100に対する差異は、電波強度取得部190を備える点である。

[0080] 電波強度取得部190は、各基地局に対応する電波強度を示す情報を取得し、取得した情報をパラメータ変更部170に送る。

[0081] パラメータ変更部170は、電波強度取得部190が取得した情報を用いてパラメータ値を設定する。

[0082] \*\*\*動作の説明\*\*\*

図17は、測位装置100の動作の一例を示すフローチャートである。本図を参照して、主に実施の形態1に係る測位装置100の動作との差異を説明する。

[0083] (ステップS31)

電波強度取得部190は、各基地局に対応する電波強度を示す情報を取得し、取得した情報をパラメータ変更部170に送る。

[0084] (ステップS16)

パラメータ変更部170は、端末の仮位置と、強度基準値以上である電波強度に対応する基地局とを含むエリアを定義し、定義したエリアの各辺の長さに応じてパラメータの値を変更する。本実施の形態において、対象エリアは、端末と、複数の基地局のうち、端末に対する電波強度が強度基準値以上である基地局とを含む空間である。強度基準値はどのように定められてもよ

い。

[0085] \*\*\*実施の形態3の効果の説明\*\*\*

以上のように、本実施の形態によれば、各基地局に対応する電波強度に応じて適切なエリアを設定することができる。

[0086] \*\*\*他の実施の形態\*\*\*

前述した各実施の形態の自由な組み合わせ、あるいは各実施の形態の任意の構成要素の変形、もしくは各実施の形態において任意の構成要素の省略が可能である。

また、実施の形態は、実施の形態1から3で示したものに限定されるものではなく、必要に応じて種々の変更が可能である。フローチャート等を用いて説明した手順は、適宜変更されてもよい。

### 符号の説明

[0087] 11 プロセッサ、12 メモリ、13 補助記憶装置、14 入出力I/F、15 通信装置、18 処理回路、19 信号線、90 測位システム、100 測位装置、110 相対角度取得部、120 仮位置算出部、130 基地局情報取得部、140 二次元位置算出部、150 三次元位置算出部、160 位置統合部、170 パラメータ変更部、180 エリア情報入力部、190 電波強度取得部。

### 請求の範囲

[請求項1] 複数の基地局の各々の位置と、三次元空間において前記複数の基地局それぞれと通信する端末とが成す角度として観測された複数の観測角度それぞれを用いて算出されたベクトルであって、前記複数の観測角度の二次元方向についての角度に基づくベクトルである複数の二次元方向ベクトルと、前記複数の観測角度それぞれを用いて算出されたベクトルであって、前記複数の観測角度の三次元方向についての角度に基づくベクトルである複数の三次元方向ベクトルとを用いて前記端末の仮位置を求める仮位置算出部と、

前記複数の基地局それぞれの位置の二次元成分と、前記複数の二次元方向ベクトルと、前記複数の基地局それぞれの位置の二次元成分に対応する重みであって、前記複数の基地局それぞれの位置の二次元成分と前記仮位置の二次元成分とに基づいて定まる重みである複数の二次元重みとを用いて前記端末の二次元位置を求める二次元位置算出部と、

前記複数の基地局それぞれの位置の三次元成分と、前記複数の三次元方向ベクトルと、前記複数の基地局それぞれの位置の三次元成分に対応する重みであって、前記複数の基地局それぞれの位置の三次元成分と前記仮位置の三次元成分とに基づいて定まる重みである複数の三次元重みとを用いて前記端末の三次元位置を求める三次元位置算出部と、

前記端末の位置の二次元成分として、前記二次元位置と、前記三次元位置の二次元成分との加重平均を求め、前記端末の位置の三次元目の成分として前記三次元位置の三次元目の成分を採用する位置統合部と  
を備える測位装置。

[請求項2] 前記複数の二次元重みそれぞれは、前記複数の基地局それぞれの位置の二次元成分と前記仮位置の二次元成分とが成す距離の逆数に応じ

た値であり、

前記複数の三次元重みそれぞれは、前記複数の基地局それぞれの位置の三次元成分と前記仮位置の三次元成分とが成す距離の逆数に応じた値である請求項 1 に記載の測位装置。

[請求項3] 前記測位装置は、さらに、

前記加重平均において用いるパラメータである加重平均パラメータの値を、対象エリアの形状に応じた値に変更するパラメータ変更部を備える請求項 1 又は 2 に記載の測位装置。

[請求項4] 前記パラメータ変更部は、前記対象エリアの長手方向の長さに対する前記対象エリアの短手方向の長さの比と、前記対象エリアの二次元における対角方向の長さと前記対象エリアの高さの比とに応じて前記加重平均パラメータの値を変更する請求項 3 に記載の測位装置。

[請求項5] 前記パラメータ変更部は、条件ごとに前記加重平均パラメータの値を示すルックアップテーブルを参照して前記加重平均パラメータの値を変更する請求項 3 又は 4 に記載の測位装置。

[請求項6] 前記対象エリアは、前記仮位置に基づいて定められたエリアである請求項 3 から 5 のいずれか 1 項に記載の測位装置。

[請求項7] 前記測位装置は、さらに、

前記対象エリアの長手方向の長さと短手方向の長さと高さとの各々を示す情報を受け付けるエリア情報入力部を備える請求項 3 から 5 のいずれか 1 項に記載の測位装置。

[請求項8] 前記対象エリアは、前記端末と、前記複数の基地局のうち、前記端末に対する電波強度が強度基準値以上である基地局とを含む空間である請求項 3 から 5 のいずれか 1 項に記載の測位装置。

[請求項9] 複数の基地局の各々の位置と、三次元空間において前記複数の基地局それぞれと通信する端末とが成す角度として観測された複数の観測角度それぞれを用いて算出されたベクトルであって、前記複数の観測角度の二次元方向についての角度に基づくベクトルである複数の二次

元方向ベクトルと、前記複数の観測角度それぞれを用いて算出されたベクトルであって、前記複数の観測角度の三次元方向についての角度に基づくベクトルである複数の三次元方向ベクトルとを用いて前記端末の仮位置を求め、

前記複数の基地局それぞれの位置の二次元成分と、前記複数の二次元方向ベクトルと、前記複数の基地局それぞれの位置の二次元成分に対応する重みであって、前記複数の基地局それぞれの位置の二次元成分と前記仮位置の二次元成分とに基づいて定まる重みである複数の二次元重みとを用いて前記端末の二次元位置を求め、

前記複数の基地局それぞれの位置の三次元成分と、前記複数の三次元方向ベクトルと、前記複数の基地局それぞれの位置の三次元成分に対応する重みであって、前記複数の基地局それぞれの位置の三次元成分と前記仮位置の三次元成分とに基づいて定まる重みである複数の三次元重みとを用いて前記端末の三次元位置を求め、

前記端末の位置の二次元成分として、前記二次元位置と、前記三次元位置の二次元成分との加重平均を求め、前記端末の位置の三次元目の成分として前記三次元位置の三次元目の成分を採用する測位方法。

[請求項10]

複数の基地局の各々の位置と、三次元空間において前記複数の基地局それぞれと通信する端末とが成す角度として観測された複数の観測角度それぞれを用いて算出されたベクトルであって、前記複数の観測角度の二次元方向についての角度に基づくベクトルである複数の二次元方向ベクトルと、前記複数の観測角度それぞれを用いて算出されたベクトルであって、前記複数の観測角度の三次元方向についての角度に基づくベクトルである複数の三次元方向ベクトルとを用いて前記端末の仮位置を求める仮位置算出処理と、

前記複数の基地局それぞれの位置の二次元成分と、前記複数の二次元方向ベクトルと、前記複数の基地局それぞれの位置の二次元成分に対応する重みであって、前記複数の基地局それぞれの位置の二次元成

分と前記仮位置の二次元成分とに基づいて定まる重みである複数の二次元重みとを用いて前記端末の二次元位置を求める二次元位置算出処理と、

前記複数の基地局それぞれの位置の三次元成分と、前記複数の三次元方向ベクトルと、前記複数の基地局それぞれの位置の三次元成分に対応する重みであって、前記複数の基地局それぞれの位置の三次元成分と前記仮位置の三次元成分とに基づいて定まる重みである複数の三次元重みとを用いて前記端末の三次元位置を求める三次元位置算出処理と、

前記端末の位置の二次元成分として、前記二次元位置と、前記三次元位置の二次元成分との加重平均を求め、前記端末の位置の三次元目の成分として前記三次元位置の三次元目の成分を採用する位置統合処理と

をコンピュータである測位装置に実行させる測位プログラム。