

明 細 書

発明の名称：測位システム、測位方法、および、測位プログラム

技術分野

[0001] 本開示は、測位システム、測位方法、および、測位プログラムに関する。

背景技術

[0002] オフィス、工場、あるいは商業施設といったエリアにおいて、ヒトあるいはモノの位置情報が注目されている。位置情報を取得するために、様々な測位手法が検討されている。

非特許文献1では、角度情報と電波強度とを組み合わせた測位手法が提案されている。

先行技術文献

非特許文献

[0003] 非特許文献1：S. Tomic, M. Beko, R. Dinis and L. Bernardo, "On Target Localization Using Combined RSS and AoA Measurements," Sensors, Vol. 18, Issue. 4, pp. 1-25, 2018

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に記載の測位手法では、電波強度に基づく重みを利用した重みづけ最小二乗法により、測位精度を向上させている。そのため、電波強度を取得できない、あるいは、電波強度が大きく変動するといった環境では、測位精度を向上させることができないという課題がある。

[0005] 本開示では、角度情報のみを用いて高精度な測位を実現することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本開示に係る測位システムは、複数の基地局の各基地局と無線で通信する

通信機器の測位を行う測位システムにおいて、

前記複数の基地局の各基地局から、前記複数の基地局の各基地局と前記通信機器との相対角度を取得する相対角度取得部と、

前記複数の基地局の各基地局と前記通信機器との相対角度と、前記複数の基地局の各基地局の位置とを用いて、前記通信機器の位置を仮位置として算出する仮位置算出部と、

前記複数の基地局の各基地局の位置と前記仮位置とを用いて前記複数の基地局の各基地局と前記通信機器との距離を算出し、前記複数の基地局の各基地局と前記通信機器との距離に基づいて、前記仮位置を補正するための重みづけ係数を前記複数の基地局の基地局ごとに算出する重み算出部と、

前記複数の基地局の各基地局と前記通信機器との相対角度と、前記複数の基地局の各基地局の位置と、前記複数の基地局の基地局ごとの重みづけ係数とを用いて、前記通信機器の位置を機器位置として算出する機器位置算出部とを備えた。

発明の効果

[0007] 本開示に係る測位システムでは、各基地局と通信機器との相対角度と、各基地局と通信機器との距離から得られる重みづけ係数とを用いて、通信機器の位置を機器位置として算出する。よって、本開示に係る測位システムによれば、角度情報のみを用いて高精度な測位を実現することができる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]実施の形態1に係る測位対象である通信機器と基地局を示す図。

[図2]実施の形態1に係る測位システムの構成例。

[図3]実施の形態1に係る測位システムの動作を示すフロー図。

[図4]実施の形態1に係る基地局と通信機器の角度の関係の例を示す図。

[図5]実施の形態1に係る測位システムによる3次元測位を用いた測位処理を示すフロー図。

[図6]実施の形態1に係る基地局情報の例を示す図。

[図7]実施の形態1に係る誤差を含んだ相対角度のイメージ図。

[図8]実施の形態1の変形例1に係る測位システムによる2次元測位を用いた測位処理を示すフロー図。

[図9]実施の形態1の変形例2に係る測位対象である通信機器と基地局を示す図。

[図10]実施の形態1の変形例3に係る測位システムの構成例。

発明を実施するための形態

[0009] 以下、本実施の形態について、図を用いて説明する。各図中、同一または相当する部分には、同一符号を付している。実施の形態の説明において、同一または相当する部分については、説明を適宜省略または簡略化する。また、以下の図では各構成部材の大きさの関係が実際のものとは異なる場合がある。また、実施の形態の説明において、上、下、左、右、前、後、表、裏といった向きあるいは位置が示されている場合がある。これらの表記は、説明の便宜上の記載であり、装置、器具、あるいは部品等の配置、方向および向きを限定するものではない。

[0010] 実施の形態1.

構成の説明

図1は、本実施の形態に係る測位対象である通信機器10と基地局20を示す図である。

本実施の形態では、複数の基地局の各基地局20と無線で通信する通信機器10の測位を行う測位システム100について説明する。通信機器10は、測位対象であり、測位対象端末ともいう。

通信機器10は、M台を想定する。また、基地局は、N台を想定する。M、Nは自然数である。図1では、通信機器10が1台であり、基地局20は3台である様子を示している。

[0011] 通信機器10は、複数の基地局の各基地局20と無線で通信する。通信機器10は、具体的には、スマートフォン端末、タブレット端末、あるいはスマートウォッチといった、無線通信により基地局20と通信する端末である。

基地局 20 は、通信機器 10、あるいは、他の基地局との相対角度 31 を算出できる。図 1 では、基地局 1 は通信機器 10 との相対角度 1 を算出し、基地局 2 は通信機器 10 との相対角度 2 を算出し、基地局 3 は通信機器 10 との相対角度 3 を算出する。

[0012] 図 2 を用いて、本実施の形態に係る測位システム 100 の構成例について説明する。

測位システム 100 は、コンピュータである。測位システム 100 は、プロセッサ 910 を備えるとともに、メモリ 921、補助記憶装置 922、入力インタフェース 930、出力インタフェース 940、および通信装置 950 といった他のハードウェアを備える。プロセッサ 910 は、信号線を介して他のハードウェアと接続され、これら他のハードウェアを制御する。

[0013] なお、測位システム 100 は、通信機器 10 に搭載されてもよいし、基地局 20 に搭載されてもよい。あるいは、通信機器 10 および基地局 20 とは別のコンピュータに搭載されてもよい。

[0014] 測位システム 100 は、機能要素として、相対角度取得部 110 と仮位置算出部 120 と重み算出部 130 と機器位置算出部 140 と記憶部 150 とを備える。記憶部 150 には、基地局情報 151 が記憶される。

[0015] 相対角度取得部 110 と仮位置算出部 120 と重み算出部 130 と機器位置算出部 140 の機能は、ソフトウェアにより実現される。記憶部 150 は、メモリ 921 に備えられる。なお、記憶部 150 は、補助記憶装置 922 に備えられていてもよいし、メモリ 921 と補助記憶装置 922 に分散して備えられていてもよい。

[0016] プロセッサ 910 は、測位プログラムを実行する装置である。測位プログラムは、相対角度取得部 110 と仮位置算出部 120 と重み算出部 130 と機器位置算出部 140 の機能を実現するプログラムである。

プロセッサ 910 は、演算処理を行う IC (Integrated Circuit) である。プロセッサ 910 の具体例は、CPU (Central Processing Unit)、DSP (Digital Sig

nal Processor)、GPU(Graphics Processing Unit)である。

[0017] メモリ921は、データを一時的に記憶する記憶装置である。メモリ921の具体例は、SRAM(Static Random Access Memory)、あるいはDRAM(Dynamic Random Access Memory)である。

補助記憶装置922は、データを保管する記憶装置である。補助記憶装置922の具体例は、HDDである。また、補助記憶装置922は、SD(登録商標)メモリカード、CF、NANDフラッシュ、フレキシブルディスク、光ディスク、コンパクトディスク、ブルーレイ(登録商標)ディスク、DVDといった可搬の記憶媒体であってもよい。なお、HDDは、Hard Disk Driveの略語である。SD(登録商標)は、Secure Digitalの略語である。CFは、Compact Flash(登録商標)の略語である。DVDは、Digital Versatile Diskの略語である。

[0018] 入力インタフェース930は、マウス、キーボード、あるいはタッチパネルといった入力装置と接続されるポートである。入力インタフェース930は、具体的には、USB(Universal Serial Bus)端子である。なお、入力インタフェース930は、LAN(Local Area Network)と接続されるポートであってもよい。

[0019] 出力インタフェース940は、ディスプレイといった出力機器のケーブルが接続されるポートである。出力インタフェース940は、具体的には、USB端子またはHDMI(登録商標)(High Definition Multimedia Interface)端子である。ディスプレイは、具体的には、LCD(Liquid Crystal Display)である。出力インタフェース940は、表示器インタフェースともいう。

[0020] 通信装置950は、レシーバとトランスミッタを有する。通信装置950は、LAN、インターネット、あるいは電話回線といった通信網に接続して

いる。通信装置 950 は、具体的には、通信チップまたは N I C (N e t w o r k I n t e r f a c e C a r d) である。

[0021] 測位プログラムは、測位システム 100 において実行される。測位プログラムは、プロセッサ 910 に読み込まれ、プロセッサ 910 によって実行される。メモリ 921 には、測位プログラムだけでなく、OS (O p e r a t i n g S y s t e m) も記憶されている。プロセッサ 910 は、OS を実行しながら、測位プログラムを実行する。測位プログラムおよび OS は、補助記憶装置 922 に記憶されていてもよい。補助記憶装置 922 に記憶されている測位プログラムおよび OS は、メモリ 921 にロードされ、プロセッサ 910 によって実行される。なお、測位プログラムの一部または全部が OS に組み込まれていてもよい。

[0022] 測位システム 100 は、プロセッサ 910 を代替する複数のプロセッサを備えていてもよい。これら複数のプロセッサは、測位プログラムの実行を分担する。それぞれのプロセッサは、プロセッサ 910 と同じように、測位プログラムを実行する装置である。

[0023] 測位プログラムにより利用、処理または出力されるデータ、情報、信号値および変数値は、メモリ 921、補助記憶装置 922、または、プロセッサ 910 内のレジスタあるいはキャッシュメモリに記憶される。

[0024] 相対角度取得部 110 と仮位置算出部 120 と重み算出部 130 と機器位置算出部 140 の各部の「部」を「処理」、「手順」あるいは「工程」に読み替えてもよい。測位プログラムは、相対角度取得処理と仮位置算出処理と重み算出処理と機器位置算出処理を、コンピュータに実行させる。相対角度取得処理と仮位置算出処理と重み算出処理と機器位置算出処理の「処理」を「プログラム」、「プログラムプロダクト」、「プログラムを記憶したコンピュータ読取可能な記憶媒体」、または「プログラムを記録したコンピュータ読取可能な記録媒体」に読み替えてもよい。また、測位方法は、測位システム 100 が測位プログラムを実行することにより行われる方法である。

測位プログラムは、コンピュータ読取可能な記録媒体に格納されて提供さ

れてもよい。また、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。

[0025] ***動作の説明***

図3を用いて、本実施の形態に係る測位システム100の動作について説明する。

測位システム100の動作手順は、測位方法に相当する。また、測位システム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。

[0026] <相対角度取得処理：ステップS101>

相対角度取得部110は、複数の基地局の各基地局20から、複数の基地局の各基地局20と通信機器10との相対角度31を取得する。図1で説明したように、基地局20は、通信機器10との相対角度31を算出可能である。

[0027] 図4は、本実施の形態に係る基地局20と通信機器10の角度の関係の例を示す図である。

図5は、本実施の形態に係る測位システム100による3次元測位を用いた測位処理を示すフロー図である。

図4では、3個の要素を持つベクトル R^3 により表される3次元空間に、 N 個の基地局20と1個の通信機器10が存在するものとする。基地局20の位置は、 $a_i = [x_i, y_i, z_i]^T \in R^3$ である。ここで、 $i = 1, \dots, N$ である。 N は2以上の自然数とする。通信機器10の位置は、 $x = [x, y, z]^T \in R^3$ とする。また、通信機器10から基地局20の位置に対する相対位置ベクトル r_i は、 $r_i = x - a_i$ である。

[0028] 具体的には、図5のステップS11において、相対角度取得部110は、相対角度31として、通信機器10から基地局20に対する方位角 ϕ_i と、通信機器10から基地局20に対する仰角 ψ_i を取得する。

角度の計測値には計測ノイズが発生する。よって、方位角 ϕ_i と仰角 ψ_i 、および、角度の計測値に対する計測ノイズの期待値は、以下の数1で表される。ここで、 $E(\cdot)$ は、 $\cdot$ の期待値を表す。

[数1]

$$\begin{aligned}\phi_i &= \phi_i^o + \tilde{\phi}_i \\ \psi_i &= \psi_i^o + \tilde{\psi}_i \\ \tilde{\phi}_i, \tilde{\psi}_i &: \text{計測ノイズ}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}E(\tilde{\phi}_i) &= 0 \\ E(\tilde{\psi}_i) &= 0 \\ E(\tilde{\phi}_i^2) &= \sigma_{\phi_i}^2 \\ E(\tilde{\psi}_i^2) &= \sigma_{\psi_i}^2\end{aligned}$$

[0029] <仮位置算出処理：ステップS102>

仮位置算出部120は、複数の基地局の各基地局20と通信機器10との相対角度31と、複数の基地局の各基地局20の位置とを用いて、通信機器10の位置を仮位置32として算出する。仮位置算出部120は、基地局20から取得した相対角度31と、基地局20の位置を用いて、幾何学的関係を拘束条件として、最小2乗法といった手法により通信機器10の位置を推定する。

具体的には、仮位置算出部120は、通信機器10の位置の計測ノイズにおける誤差を用いた最小2乗法を実行することにより、仮位置32を算出する。通信機器10の位置の計測ノイズにおける誤差は、複数の基地局の各基地局20と通信機器10との相対角度31と、複数の基地局の各基地局20の位置とから求められる。

[0030] 図6は、本実施の形態に係る基地局情報151の例を示す図である。

図6に示すように、基地局情報151には、基地局を識別する識別子と、基地局の位置とが設定されている。基地局の位置は、3次元空間の座標、2次元空間の座標、CADのデータ、あるいはBIMのデータといった形式を用いて表される。基地局の位置は、その他の形式を用いて表されていてもよい。CADは、computer-aided designの略語である。BIMは、Building Information Modelingの略語である。本実施の形態では、基地局の位置は、3次元空間の座標で

表されているものとする。

[0031] 具体的には、図5のステップS12において、仮位置算出部120は、最小2乗法を用いて、通信機器10の3次元測位を行う。

通信機器10から基地局20に対する相対位置ベクトル r_i は、 $r_i = x - a_i$ である。基地局20と通信機器10との相対角度から、相対位置ベクトル r_i に対する直交ベクトル c_{1i} 、 c_{2i} は以下の数2で表される。

[数2]

$$\begin{aligned} c_{1i} &= [-\sin(\phi_i), \cos(\phi_i), 0]^T \\ c_{2i} &= [\cos(\phi_i) \cos(\psi_i), \sin(\phi_i) \cos(\psi_i), -\sin(\psi_i)]^T \end{aligned}$$

[0032] 数2の直交ベクトル c_{1i} 、 c_{2i} を用いて、相対位置ベクトル $r_i = x - a_i$ を変形すると、以下の数3の関係式が得られる。ここで、 ε_{1i} 、 ε_{2i} は計測ノイズに伴う誤差である。

[数3]

$$\begin{aligned} c_{1i}^T (x - a_i) &= \varepsilon_{1i} \\ c_{2i}^T (x - a_i) &= \varepsilon_{2i} \end{aligned}$$

[0033] このように、通信機器10の位置の計測ノイズにおける誤差 ε_{1i} 、 ε_{2i} は、各基地局20と通信機器10との相対角度31と、各基地局20の位置とから求められる。

最小2乗法で求める通信機器10の推定位置である仮位置32を、以下の数4で表す。数4で表される仮位置32は、以下の数5の最小値問題の解として与えられる。

[数4]

$$\hat{\mathbf{x}}_{\text{LS}} = [\hat{x}_{\text{LS}}, \hat{y}_{\text{LS}}, \hat{z}_{\text{LS}}]^T$$

$\hat{\mathbf{x}}_{\text{LS}}$: 通信機器 10 の仮位置 32

[数5]

$$\hat{\mathbf{x}}_{\text{LS}} = \underset{\mathbf{x}}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^N \left(\mathbf{c}_{1i}^T (\mathbf{x} - \mathbf{a}_i) \right)^2 + \sum_{i=1}^N \left(\mathbf{c}_{2i}^T (\mathbf{x} - \mathbf{a}_i) \right)^2$$

$\hat{\mathbf{x}}_{\text{LS}}$: 通信機器 10 の仮位置 32

[0034] 数 5 を行列形式で表現すると、以下の数 6 の式が得られる。

なお、 $\mathbb{R}^{M \times N}$ は M 行 N 列の行列である。よって、 $\mathbb{R}^{2N \times 3}$ は $2N$ 行 3 列の行列である。 $\mathbb{R}^{2N \times 1}$ は $2N$ 行 1 列の行列である。

[数6]

$$\hat{\mathbf{x}}_{\text{LS}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{b}; \text{ where } \mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mathbf{c}_{11}^T \\ \vdots \\ \mathbf{c}_{1N}^T \\ \mathbf{c}_{21}^T \\ \vdots \\ \mathbf{c}_{2N}^T \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{2N \times 3}, \mathbf{b} = \begin{bmatrix} \mathbf{c}_{11}^T \mathbf{a}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{c}_{11}^T \mathbf{a}_N \\ \mathbf{c}_{21}^T \mathbf{a}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{c}_{21}^T \mathbf{a}_N \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{2N \times 1}$$

$\hat{\mathbf{x}}_{\text{LS}}$: 通信機器 10 の仮位置 32

[0035] <重み算出処理：ステップ S 103>

重み算出部 130 は、複数の基地局の各基地局 20 の位置と仮位置 32 とを用いて複数の基地局の各基地局 20 と通信機器 10 との距離を算出する。重み算出部 130 は、複数の基地局の各基地局 20 と通信機器 10 との距離に基づいて、仮位置 32 を補正するための重みづけ係数 33 を複数の基地局の基地局 20 ごとに算出する。重み算出部 130 は、距離が大きくなるほど

最小 2 乗法における誤差の影響を小さくするように重みづけ係数 33 を算出する。

[0036] 図 7 は、本実施の形態に係る誤差を含んだ相対角度のイメージ図である。

基地局 20 により算出される相対角度には誤差がある。図 7 に示すように、基地局 20 と通信機器 10 との間の距離が離れているほど、通信機器 10 の推定位置が真の位置から大きくずれる可能性があることがわかる。よって、重みづけ係数 33 は、距離に対し単調減少する任意の関数とする。具体的には、重みづけ係数 33 として、距離の逆数を用いる。

[0037] 具体的には、図 5 のステップ S 13 において、重み算出部 130 は、各基地局 20 の重みづけ係数 33 を W_{1i} 、 W_{2i} として算出する。

[0038] 通信機器 10 から基地局 20 に対する方位角、仰角の計測ノイズは、以下の数 7 の通り、1 より十分に小さいと仮定する。ここで、幾何学的関係および三角関数の加法定理を用いると、数 3 は以下の数 8 のように変形できる。

[数 7]

$$|\tilde{\phi}_i|, |\tilde{\psi}_i| \ll 1$$

[数 8]

$$\begin{aligned}\varepsilon_{1i} &\cong -R_{2i}\tilde{\phi}_i \\ \varepsilon_{2i} &\cong -R_{3i}\tilde{\psi}_i\end{aligned}$$

[0039] ここで、 R_{2i} は、 $x-y$ 平面における基地局ー通信機器間のユークリッド距離であり、以下の数 9 で表される。

[数 9]

$$R_{2i} = \sqrt{(\hat{x} - x_i)^2 + (\hat{y} - y_i)^2}$$

[0040] また、 R_{3i} は、3 次元空間における基地局ー通信機器間のユークリッド距離であり、以下の数 10 で表される。

[数10]

$$R_{3i} = \sqrt{(\hat{x} - x_i)^2 + (\hat{y} - y_i)^2 + (\hat{z} - z_i)^2}$$

[0041] 通信機器10から基地局20に対する方位角および仰角の計測ノイズは、以下の数11の通り、1より十分に小さいと仮定する。

[数11]

$$\tilde{\phi}_i \ll 1, \tilde{\psi}_i \ll 1$$

[0042] 数8の ε_{1i} , ε_{2i} の分散 σ_{1i}^2 , σ_{2i}^2 は、以下の数12の通り計算できる。ここで、 $E(\cdot)$ は、 $\cdot$ の期待値を表す。

[数12]

$$\begin{aligned}\sigma_{1i}^2 &= E((\varepsilon_{1i} - E(\varepsilon_{1i}))^2) \\ &\cong R_{2i}^2 \sigma_{\phi_i}^2 \\ \sigma_{2i}^2 &= E((\varepsilon_{2i} - E(\varepsilon_{2i}))^2) \\ &\cong R_{3i}^2 \sigma_{\psi_i}^2\end{aligned}$$

[0043] 方位角の計測ノイズの分散と仰角の計測ノイズの分散がほぼ等しいと仮定すると、分散 σ_{1i}^2 , σ_{2i}^2 は定数Cを用いて、以下の数13のように表現できる。

[数13]

$$\begin{aligned}\sigma_{1i}^2 &\cong R_{2i}^2 C \\ \sigma_{2i}^2 &\cong R_{3i}^2 C\end{aligned}$$

[0044] 本実施の形態では、仮位置32を行列形式で表した数6、および基地局20の位置 a_i を利用して、以下の数14のように重みづけ係数33を算出する。

[数14]

$$w_{1i} = \frac{\sqrt{C}}{\sigma_{1i}} \cong \frac{1}{\sqrt{(\hat{x}_{LS} - x_i)^2 + (\hat{y}_{LS} - y_i)^2}}$$

$$w_{2i} = \frac{\sqrt{C}}{\sigma_{2i}} \cong \frac{1}{\sqrt{(\hat{x}_{LS} - x_i)^2 + (\hat{y}_{LS} - y_i)^2 + (\hat{z}_{LS} - z_i)^2}}$$

[0045] ここでは、重みづけ係数33は、 W_{1i} 、 W_{2i} である。 W_{1i} は直交ベクトル c_{1i} に対応し、 W_{2i} は直交ベクトル c_{2i} に対応する重みである。これにより、通信機器10の位置を算出する際に、基地局20と通信機器10との距離に応じてノイズの影響を考慮した重みづけをすることができる。

[0046] <機器位置算出処理：ステップS104>

機器位置算出部140は、複数の基地局の各基地局20と通信機器10との相対角度31と、複数の基地局の各基地局20の位置と、複数の基地局の基地局20ごとの重みづけ係数33とを用いて、通信機器10の位置を機器位置34として算出する。機器位置算出部140は、誤差に重みづけ係数33を乗じて最小2乗法を実行することにより、機器位置34を算出する。

[0047] 具体的には、図5のステップS14において、機器位置算出部140は、各基地局20の重みづけ係数 W_{1i} 、 W_{2i} を用いて、重みづけ最小2乗法により、通信機器10の位置を機器位置34として算出する。重みづけ最小2乗法は、加重最小2乗法ともいう。

[0048] 重みづけ最小2乗法では、通信機器10の推定位置である機器位置34を、以下の数15の最小値問題の解として与える。これにより、通信機器10の推定位置である機器位置34に対し、ノイズの影響が大きい基地局の影響を小さくすることができる。

[数15]

$$\hat{\mathbf{x}} = \underset{\mathbf{x}}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^N \left(w_{1i} \mathbf{c}_{1i}^T (\mathbf{x} - \mathbf{a}_i) \right)^2 + \sum_{i=1}^N \left(w_{2i} \mathbf{c}_{2i}^T (\mathbf{x} - \mathbf{a}_i) \right)^2$$

 $\hat{\mathbf{x}}$: 通信機器 10 の機器位置 34

[0049] 数 15 を行列形式で表現すると、数 16 が得られる。

[数16]

$$\hat{\mathbf{x}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{W} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{W} \mathbf{b};$$

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

 $\hat{\mathbf{x}}$: 通信機器 10 の機器位置 34

[0050] ***他の構成***

<変形例 1>

本実施の形態では、通信機器 10 と基地局 20 の位置を 3 次元座標で表し、通信機器 10 の位置を 3 次元測位により算出した。

本実施の形態に係る変形例 1 では、通信機器 10 と基地局 20 の位置を 2 次元座標で表し、通信機器 10 の位置を 2 次元測位により算出してもよい。以下に 2 次元測位の具体例について説明する。

[0051] 図 8 は、本実施の形態の変形例に係る測位システム 100 による 2 次元測位を用いた測位処理を示すフロー図である。

ここでは、2 個の要素をもつベクトル $\mathbb{R}^2$ により表される 2 次元空間に、N 個の基地局 20 と 1 個の通信機器 10 が存在するものとする。基地局 20 の位置は、 $\mathbf{a}_i = [x_i, y_i]^T \in \mathbb{R}^2$ である。ここで、 $i = 1, \dots, N$ である。N は 2 以上の自然数とする。通信機器 10 の位置は、 $\mathbf{x} = [x, y]^T \in \mathbb{R}^2$ とする。また、通信機器 10 から基地局 20 の位置に対する相対位置ベクトル $\mathbf{r}_i$ は、 $\mathbf{r}_i = \mathbf{x} - \mathbf{a}_i$ である。

[0052] ステップS 2 1において、相対角度取得部 1 1 0は、各基地局 2 0から、通信機器 1 0から基地局 2 0に対する方位角 ϕ_i を取得する。

[0053] ステップS 2 2において、仮位置算出部 1 2 0は、最小 2 乗法を用いて、通信機器 1 0の 2 次元測位を行う。

相対位置ベクトル r_i に対する直交ベクトル c_{1i} は、方位角 ϕ_i から、以下の数 1 7 で表される。

[数17]

$$\mathbf{c}_{1i} = [-\sin(\phi_i), \cos(\phi_i)]^T$$

[0054] 直交ベクトル c_{1i} により、相対位置ベクトル $r_i = \mathbf{x} - \mathbf{a}_i$ を変形すると、以下の数 1 8 の関係式が得られる。ここで、 ε_{1i} は計測ノイズに伴う誤差である。

[数18]

$$\mathbf{c}_{1i}^T(\mathbf{x} - \mathbf{a}_i) = \varepsilon_{1i}$$

[0055] 最小 2 乗法で求める通信機器 1 0 の推定位置である仮位置 3 2 を、以下の数 1 9 で表す。数 1 9 で表される仮位置 3 2 は、以下の数 2 0 の最小値問題の解として与えられる。

[数19]

$$\hat{\mathbf{x}}_{LS} = [\hat{x}_{LS}, \hat{y}_{LS}]^T$$

$\hat{\mathbf{x}}_{LS}$: 通信機器 10 の仮位置 32

[数20]

$$\hat{\mathbf{x}}_{\text{LS}} = \underset{\mathbf{x}}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^N \left(\mathbf{c}_{1i}^T (\mathbf{x} - \mathbf{a}_i) \right)^2$$

$\hat{\mathbf{x}}_{\text{LS}}$: 通信機器 10 の仮位置 32

[0056] 数 20 を行列形式で表現すると、以下の数 21 の式が得られる。

[数21]

$$\hat{\mathbf{x}}_{\text{LS}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{b}; \text{ where } \mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mathbf{c}_{11}^T \\ \vdots \\ \mathbf{c}_{1N}^T \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{N \times 3}, \mathbf{b} = \begin{bmatrix} \mathbf{c}_{11}^T \mathbf{a}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{c}_{1N}^T \mathbf{a}_N \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{N \times 1}$$

$\hat{\mathbf{x}}_{\text{LS}}$: 通信機器 10 の仮位置 32

[0057] ステップ S 23 において、重み算出部 130 は、仮位置 32 を用いて、各基地局 20 の重みづけ係数 33 を W_{1i} として算出する。

[0058] 通信機器 10 から基地局 20 に対する方位角の計測ノイズは、上述の数 7 の通り、1 より十分に小さいと仮定する。ここで、幾何学的関係および三角関数の加法定理を用いると、数 18 は以下の数 22 のように変形できる。

[数22]

$$\varepsilon_{1i} \cong -R_{2i} \tilde{\phi}_i$$

[0059] ここで、 R_{2i} は、 $x-y$ 平面における基地局ー通信機器間のユークリッド距離であり、上述の数 9 と同様に表される。

[0060] 数 22 の ε_{1i} の分散 σ_{1i}^2 は、以下の数 23 の通り計算できる。ここで、 $E(\cdot)$ は、 $\cdot$ の期待値を表す。

[数23]

$$\begin{aligned}\sigma_{1i}^2 &= E((\varepsilon_{1i} - E(\varepsilon_{1i}))^2) \\ &\cong R_{2i}^2 \sigma_{\phi_i}^2\end{aligned}$$

[0061] 数23より、以下の数24の関係が導かれる。

[数24]

$$\sigma_{1i}^2 \propto R_{2i}^2$$

[0062] 本実施の形態では、仮位置32を表す数21、および、基地局20の位置 $\mathbf{a}_i$ を利用して、以下の数25のように重みづけ係数33を算出する。

[数25]

$$w_{1i} = \frac{1}{\sqrt{(\hat{x}_{LS} - x_i)^2 + (\hat{y}_{LS} - y_i)^2}}$$

[0063] ここでは、重みづけ係数33は、 W_{1i} である。

[0064] ステップS24において、機器位置算出部140は、各基地局20の重みづけ係数 W_{1i} を用いて、重みづけ最小2乗法により、通信機器10の機器位置34を算出する。

重みづけ最小2乗法では、通信機器10の機器位置34を推定位置として、通信機器10の機器位置34を以下の数26の最小値問題の解として与える。

[数26]

$$\hat{\mathbf{x}} = \underset{\mathbf{x}}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^N \left(w_{1i} \mathbf{c}_{1i}^T (\mathbf{x} - \mathbf{a}_i) \right)^2$$

$\hat{\mathbf{x}}$: 通信機器10の機器位置34

[0065] 数 2 6 を行列形式で表現すると、数 2 7 が得られる。

[数27]

$$\hat{\mathbf{x}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{W} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{W} \mathbf{b};$$

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

$\hat{\mathbf{x}}$: 通信機器 10 の機器位置 34

<変形例 2>

本実施の形態では、通信機器 10 の具体例として、スマートフォン端末、タブレット端末、あるいはスマートウォッチといった、無線通信により基地局 20 と通信する端末を想定している。しかし、通信機器 10 は、複数の基地局に含まれる 1 つの基地局であってもよい。

[0066] 図 9 は、本実施の形態の変形例 2 に係る測位対象である通信機器 10 と基地局 20 を示す図である。

複数の基地局のうち 1 つの基地局 20 a は、測位対象である通信機器 10 の例である。1 つの基地局 20 a は、数の基地局のうち他の基地局と無線で通信する。

このように、基地局を測位対象と捉えてもよい。図 9 に示すように、複数の基地局の各基地局 20 の位置と、基地局 20 a 間の相対角度から、位置が不明な基地局 20 a の位置を算出してもよい。

[0067] <変形例 3>

本実施の形態では、相対角度取得部 110 と仮位置算出部 120 と重み算出部 130 と機器位置算出部 140 の機能がソフトウェアで実現される。変形例として、相対角度取得部 110 と仮位置算出部 120 と重み算出部 130 と機器位置算出部 140 の機能がハードウェアで実現されてもよい。

具体的には、測位システム 100 は、プロセッサ 910 に替えて電子回路 909 を備える。

[0068] 図 10 は、本実施の形態の変形例 3 に係る測位システム 100 の構成を示

す図である。

電子回路909は、相対角度取得部110と仮位置算出部120と重み算出部130と機器位置算出部140の機能を実現する専用の電子回路である。電子回路909は、具体的には、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、ロジックIC、GA、ASIC、または、FPGAである。GAは、Gate Arrayの略語である。ASICは、Application Specific Integrated Circuitの略語である。FPGAは、Field-Programmable Gate Arrayの略語である。

[0069] 相対角度取得部110と仮位置算出部120と重み算出部130と機器位置算出部140の機能は、1つの電子回路で実現されてもよいし、複数の電子回路に分散して実現されてもよい。

[0070] 別の変形例として、相対角度取得部110と仮位置算出部120と重み算出部130と機器位置算出部140の一部の機能が電子回路で実現され、残りの機能がソフトウェアで実現されてもよい。また、相対角度取得部110と仮位置算出部120と重み算出部130と機器位置算出部140の一部またはすべての機能がファームウェアで実現されてもよい。

[0071] プロセッサと電子回路の各々は、プロセッシングサーキットリとも呼ばれる。つまり、相対角度取得部110と仮位置算出部120と重み算出部130と機器位置算出部140の機能は、プロセッシングサーキットリにより実現される。

[0072] ***本実施の形態の効果の説明***

以上のように、本実施の形態に係る測位システム100では、まず、各基地局から取得した相対角度と各基地局の位置を用いて、幾何学的関係を拘束条件として、最小二乗法といった手法により、通信機器の仮位置を計算する。次に、測位システム100では、通信機器の仮位置と各基地局の位置から、通信機器と基地局との距離を計算する。そして、測位システム100では、幾何学的関係を拘束条件として、距離に基づいた重みを用いて、重み付け

最小二乗法といった手法により、最終的な通信機器の位置を機器位置として推定する。

このように、本実施の形態に係る測位システム100によれば、距離の離れた基地局の影響が小さくなるように重み付けすることにより、角度情報のみを用いて、高精度な測位を実現することができる。

[0073] 以上の実施の形態1および2では、測位システムの各部を独立した機能ブロックとして説明した。しかし、測位システムの構成は、上述した実施の形態のような構成でなくてもよい。測位システムの機能ブロックは、上述した実施の形態で説明した機能を実現することができれば、どのような構成でもよい。また、測位システムは、1つの装置でなく、複数の装置から構成されたシステムでもよい。

また、実施の形態1および2のうち、複数の部分を組み合わせる実施しても構わない。あるいは、これらの実施の形態のうち、1つの部分を実施しても構わない。その他、これら実施の形態を、全体としてあるいは部分的に、どのように組み合わせる実施しても構わない。

すなわち、実施の形態1および2では、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。

[0074] なお、上述した実施の形態は、本質的に好ましい例示であって、本開示の範囲、本開示の適用物の範囲、および本開示の用途の範囲を制限することを意図するものではない。上述した実施の形態は、必要に応じて種々の変更が可能である。

符号の説明

[0075] 10 通信機器、20, 20a 基地局、31 相対角度、32 仮位置、33 重みづけ係数、34 機器位置、100 測位システム、110 相対角度取得部、120 仮位置算出部、130 重み算出部、140 機器位置算出部、150 記憶部、151 基地局情報、909 電子回路、910 プロセッサ、921 メモリ、922 補助記憶装置、930 入

カインタフェース、 9 4 0 出力インタフェース、 9 5 0 通信装置。

請求の範囲

- [請求項1] 複数の基地局の各基地局と無線で通信する通信機器の測位を行う測位システムにおいて、
- 前記複数の基地局の各基地局から、前記複数の基地局の各基地局と前記通信機器との相対角度を取得する相対角度取得部と、
- 前記複数の基地局の各基地局と前記通信機器との相対角度と、前記複数の基地局の各基地局の位置とを用いて、前記通信機器の位置を仮位置として算出する仮位置算出部と、
- 前記複数の基地局の各基地局の位置と前記仮位置とを用いて前記複数の基地局の各基地局と前記通信機器との距離を算出し、前記複数の基地局の各基地局と前記通信機器との距離に基づいて、前記仮位置を補正するための重みづけ係数を前記複数の基地局の基地局ごとに算出する重み算出部と、
- 前記複数の基地局の各基地局と前記通信機器との相対角度と、前記複数の基地局の各基地局の位置と、前記複数の基地局の基地局ごとの重みづけ係数とを用いて、前記通信機器の位置を機器位置として算出する機器位置算出部と
- を備えた測位システム。
- [請求項2] 前記仮位置算出部は、
- 前記通信機器の位置の計測ノイズにおける誤差であって、前記複数の基地局の各基地局と前記通信機器との相対角度と、前記複数の基地局の各基地局の位置とから求められる誤差を用いた最小2乗法を実行することにより、前記仮位置を算出し、
- 前記機器位置算出部は、
- 前記誤差に前記重みづけ係数を乗じて前記最小2乗法を実行することにより、前記機器位置を算出する請求項1に記載の測位システム。
- [請求項3] 前記重み算出部は、
- 前記距離が大きくなるほど前記最小2乗法における前記誤差の影響

を小さくするように前記重みづけ係数を算出する請求項2に記載の測位システム。

[請求項4] 前記通信機器は、前記複数の基地局に含まれる1つの基地局であり、

前記1つの基地局は、前記複数の基地局のうち他の基地局と無線で通信する請求項1から請求項3のいずれか1項に記載の測位システム。

[請求項5] 複数の基地局の各基地局と無線で通信する通信機器の測位を行う測位システムの測位方法において、

相対角度取得部が、前記複数の基地局の各基地局から、前記複数の基地局の各基地局と前記通信機器との相対角度を取得し、

仮位置算出部が、前記複数の基地局の各基地局と前記通信機器との相対角度と、前記複数の基地局の各基地局の位置とを用いて、前記通信機器の位置を仮位置として算出し、

重み算出部が、前記複数の基地局の各基地局の位置と前記仮位置とを用いて前記複数の基地局の各基地局と前記通信機器との距離を算出し、前記複数の基地局の各基地局と前記通信機器との距離に基づいて、前記仮位置を補正するための重みづけ係数を前記複数の基地局の基地局ごとに算出し、

機器位置算出部が、前記複数の基地局の各基地局と前記通信機器との相対角度と、前記複数の基地局の各基地局の位置と、前記複数の基地局の基地局ごとの重みづけ係数とを用いて、前記通信機器の位置を機器位置として算出する測位方法。

[請求項6] 複数の基地局の各基地局と無線で通信する通信機器の測位を行う測位システムの測位プログラムにおいて、

前記複数の基地局の各基地局から、前記複数の基地局の各基地局と前記通信機器との相対角度を取得する相対角度取得処理と、

前記複数の基地局の各基地局と前記通信機器との相対角度と、前記

複数の基地局の各基地局の位置とを用いて、前記通信機器の位置を仮位置として算出する仮位置算出処理と、

前記複数の基地局の各基地局の位置と前記仮位置とを用いて前記複数の基地局の各基地局と前記通信機器との距離を算出し、前記複数の基地局の各基地局と前記通信機器との距離に基づいて、前記仮位置を補正するための重みづけ係数を前記複数の基地局の基地局ごとに算出する重み算出処理と、

前記複数の基地局の各基地局と前記通信機器との相対角度と、前記複数の基地局の各基地局の位置と、前記複数の基地局の基地局ごとの重みづけ係数とを用いて、前記通信機器の位置を機器位置として算出する機器位置算出処理と

をコンピュータに実行させる測位プログラム。