

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6145623号
(P6145623)

(45) 発行日 平成29年6月14日 (2017. 6. 14)

(24) 登録日 平成29年5月26日 (2017. 5. 26)

(51) Int. Cl.

F I

G O 1 S 5/02 (2010.01)
H O 4 W 64/00 (2009.01)G O 1 S 5/02 Z
H O 4 W 64/00 1 1 O
H O 4 W 64/00 1 4 O

請求項の数 10 (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2015-59258 (P2015-59258)
 (22) 出願日 平成27年3月23日 (2015. 3. 23)
 (65) 公開番号 特開2016-176907 (P2016-176907A)
 (43) 公開日 平成28年10月6日 (2016. 10. 6)
 審査請求日 平成27年7月14日 (2015. 7. 14)

(73) 特許権者 591040236
 石川県
 石川県金沢市鞍月 1 丁目 1 番地
 (74) 代理人 100137394
 弁理士 横井 敏弘
 (72) 発明者 吉村 慶之
 石川県金沢市鞍月 2 丁目 1 番地 石川県工
 業試験場内
 (72) 発明者 米沢 裕司
 石川県金沢市鞍月 2 丁目 1 番地 石川県工
 業試験場内
 審査官 中村 説志

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 位置測定システム、位置測定装置、位置測定方法、及びプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の固定装置と位置測定装置とを含み、移動体の位置を測定する位置測定システムであって、

前記複数の固定装置が、互いに離間した複数の位置に配置され、

前記固定装置は、前記移動体との間で電波を受信または送信し、

前記位置測定装置は、

複数の位置に配置された前記固定装置と前記移動体との間で送受信される電波の受信強度または電波の伝搬時間を示すデータを入力データとして取得するデータ取得部と、

前記移動体の複数の位置に関連付けられた、時刻と受信強度または伝搬時間とが含まれるデータを学習データセットとしてランダムに選択する学習データ選択部と、

前記学習データ選択部によりランダムに選択された複数の学習データセットを用いて、予測に用いる複数の決定木を決定する学習部と、

前記データ取得部により取得された入力データと、前記学習部により決定された複数の決定木それぞれとを用いて、複数の予測結果を出力する予測部と、

前記予測部による複数の予測結果に基づいて、前記移動体の位置を決定する位置決定部と

を有し、

前記入力データには、複数の時刻にそれぞれ関連付けられた電波の受信強度または電波の伝搬時間が含まれる

10

20

位置測定システム。

【請求項 2】

前記学習データ選択部は、前記移動体の複数の位置に関連付けられた複数の受信強度または伝搬時間のデータの中から、複数のデータの組合せと、前記データに含まれる、時刻と固定装置とから定まる説明変数の組み合わせとを選択し、選択されたデータの組み合わせ及び説明変数の組み合わせと、これらに関連付けられた受信強度または伝搬時間とを学習データセットとし、

前記学習部は、前記学習データ選択部により選択された複数の学習データセットを用いて、予測に用いる複数の決定木を決定し、

前記予測部は、前記学習部により決定された複数の決定木それぞれを用いて、複数の予測結果を出力する

10

請求項 1 に記載の位置測定システム。

【請求項 3】

前記学習データ選択部は、複数の位置にある前記移動体と、複数の前記固定装置それぞれとの間で送受信される電波の受信強度または電波の伝搬時間の実測値の中から、前記学習データセットをランダムに選択し、

前記学習部は、ランダムに選択された複数の学習データセットを用いて、複数の決定木を決定し、

前記予測部は、前記学習部により決定された複数の決定木と、前記データ取得部により取得された入力データとを用いて、前記移動体の位置を予測する

20

請求項 2 に記載の位置測定システム。

【請求項 4】

互いに近接して配置された複数の固定装置を固定装置セットとし、

前記学習データ選択部は、複数の位置にある前記移動体と、前記固定装置セットに含まれる固定装置それぞれとの間で送受信される電波の受信強度または電波の伝搬時間の実測値の中から、前記学習データセットをランダムに選択し、

前記学習部は、選択された複数の学習データセットを用いて、複数の決定木を決定し、

前記データ取得部は、前記固定装置セットに含まれる固定装置それぞれによる受信強度または伝搬時間を入力データとして取得し、

前記予測部は、決定された複数の決定木と、取得された入力データとを用いて、前記移動体の位置を予測する

30

請求項 2 に記載の位置測定システム。

【請求項 5】

前記固定装置は、複数のタイミングで、前記移動体から送信された電波を受信、または、前記移動体は、複数のタイミングで、前記固定装置から送信された電波を受信し、

前記学習データ選択部は、複数の位置にある前記移動体と、前記固定装置それぞれとの間で複数のタイミングで送受信される電波の受信強度または電波の伝搬時間の実測値の中から、前記学習データセットをランダムに選択し、

前記学習部は、選択された複数の学習データセットを用いて、複数の決定木を決定し、

前記データ取得部は、複数のタイミングにおける前記固定装置の受信強度または伝搬時間を入力データとして取得し、

前記予測部は、決定された複数の決定木と、取得された入力データとを用いて、前記移動体の位置を予測する

40

請求項 2 に記載の位置測定システム。

【請求項 6】

前記位置測定装置は、

前記予測部による複数の予測結果のばらつき度合に基づいて、前記位置決定部により決定される位置の精度を評価する精度評価部

をさらに有する

請求項 1 に記載の位置測定システム。

50

【請求項 7】

決定木のセットは、前記移動体のアンテナの複数の高さそれぞれに関連付けて用意されており、

前記予測部による予測結果のばらつきに基づいて、前記移動体のアンテナの高さを判定する高さ判定部

をさらに有し、

前記位置決定部は、前記高さ判定部により判定された高さに関連付けられた決定木のセットによる予測結果を用いて、前記移動体の位置を決定する

請求項 2 に記載の位置測定システム。

【請求項 8】

10

移動体の位置を測定する位置測定装置であって、

既定の位置に固定された固定装置と、前記移動体との間で送受信される電波の受信強度または電波の伝搬時間を示すデータを入力データとして取得するデータ取得部と、

前記移動体の複数の位置に関連付けられた、時刻と受信強度または伝搬時間とが含まれるデータを学習データセットとしてランダムに選択する学習データ選択部と、

前記学習データ選択部によりランダムに選択された複数の学習データセットを用いて、予測に用いる複数の決定木を決定する学習部と、

前記データ取得部により取得された入力データと、前記学習部により決定された複数の決定木それぞれとを用いて、複数の予測結果を出力する予測部と、

前記予測部による複数の予測結果に基づいて、前記移動体の位置を決定する位置決定部と

20

を有し、

前記入力データには、複数の時刻にそれぞれ関連付けられた電波の受信強度または電波の伝搬時間が含まれる

位置測定装置。

【請求項 9】

固定装置と位置測定装置とを含み、移動体の位置を測定する位置測定方法であって、

前記固定装置が、前記移動体から発信された電波を受信するステップと、

前記位置測定装置が、前記固定装置と前記移動体との間で送受信される電波の受信強度または電波の伝搬時間を示すデータを入力データとして取得するステップと、

30

前記移動体の複数の位置に関連付けられた、時刻と受信強度または伝搬時間とが含まれるデータを学習データセットとしてランダムに選択するステップと、

ランダムに選択された複数の学習データセットを用いて、予測に用いる複数の決定木を決定するステップと、

取得された入力データと、前記学習部により決定された複数の決定木それぞれとを用いて、複数の予測結果を出力するステップと、

前記位置測定装置が、前記複数の予測方法による複数の予測結果に基づいて、前記移動体の位置を決定するステップと

を有し、

前記入力データには、複数の時刻にそれぞれ関連付けられた電波の受信強度または電波の伝搬時間が含まれる

40

位置測定方法。

【請求項 10】

既定の位置に固定された固定装置と、移動体との間で送受信される電波の受信強度または電波の伝搬時間を示すデータを入力データとして取得するステップと、

前記移動体の複数の位置に関連付けられた、時刻と受信強度または伝搬時間とが含まれるデータを学習データセットとしてランダムに選択するステップと、

ランダムに選択された複数の学習データセットを用いて、予測に用いる複数の決定木を決定するステップと、

取得された入力データと、前記学習部により決定された複数の決定木それぞれとを用い

50

て、複数の予測結果を出力するステップと、

前記複数の予測方法による複数の予測結果に基づいて、前記移動体の位置を決定するステップと

をコンピュータに実行させ、

前記入力データには、複数の時刻にそれぞれ関連付けられた電波の受信強度または電波の伝搬時間が含まれる

プログラム。

【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、位置測定装置、位置測定方法、及びプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

例えば、特許文献1には、移動局から発信された電波を複数の基地局が受信し、該複数の基地局がそれぞれ受信した電波の受信結果に基づいて算出される該複数の基地局のそれぞれと前記移動局との距離と該複数の基地局のそれぞれの位置とに基づいて該移動局の位置を推定する移動局測位システムであって、前記複数の基地局のそれぞれと前記移動局との距離に関連する距離関連値を算出する第1の測距手段と、前記第1の測距手段とは異なる方法で、前記複数の基地局のそれぞれと前記移動局との距離に関連する距離関連値を算出する第2の測距手段と、前記複数の基地局のそれぞれについて、該基地局のそれぞれと前記移動局との距離に関する情報に基づいて、前記第1の測距手段から第2の測距手段へ切り換える測距手段切手手段とを有することを特徴とする移動局測位システムが開示されている。

【0003】

また、文献2には、ZigBee（登録商標）で利用されているLQI（リンク品質値）の値を用いて、端末の位置情報取得と移動中の端末がセンサーデータを送信するZigBee（登録商標）を用いた位置情報の取得及びデータ転送システムが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2009-85780号公報

【非特許文献2】信学技報，vol. 111，no. 355，SANE2011-129，pp. 13-17，2011年12月

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

より精度の高い位置測定システム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】

本発明に係る位置測定システムは、複数の固定装置と位置測定装置とを含み、移動体の位置を測定する位置測定システムであって、前記複数の固定装置が、互いに離間した複数の位置に配置され、前記固定装置は、前記移動体との間で電波を受信または送信し、前記位置測定装置は、複数の位置に配置された前記固定装置と前記移動体との間で送受信される電波の受信強度または電波の伝搬時間を示すデータを入力データとして取得するデータ取得部と、互いに異なる複数の予測方法と、前記データ取得部により取得された入力データとを用いて、前記移動体の位置を予測する予測部と、前記予測部による複数の予測結果に基づいて、前記移動体の位置を決定する位置決定部とを有する。

【0007】

好適には、前記固定装置は、複数のタイミングで、前記移動体から受信または送信された電波を送受信し、前記予測部は、複数のタイミングで前記固定装置と前記移動体との間

10

20

30

40

50

で送受信される電波の受信強度または電波の伝搬時間を入力データとして、前記移動体の位置を予測する。

【 0 0 0 8 】

好適には、前記位置測定装置は、前記移動体の複数の位置に関連付けられた複数の受信強度または伝搬時間のデータの中から、複数のデータの組合せと、前記データに含まれる受信強度または伝搬時間の組み合わせとを学習データセットとして選択する学習データ選択部と、前記学習データ選択部により選択された複数の学習データセットを用いて、予測に用いる複数の決定木を決定する学習部をさらに有し、前記予測部は、前記学習部により決定された複数の決定木それぞれを用いて、複数の予測結果を出力する。

【 0 0 0 9 】

10

好適には、前記学習データ選択部は、複数の位置にある前記移動体と、複数の前記固定装置それぞれとの間で送受信される電波の受信強度または電波の伝搬時間の実測値の中から、前記学習データセットをランダムに選択し、前記学習部は、ランダムに選択された複数の学習データセットを用いて、複数の決定木を決定し、前記予測部は、前記学習部により決定された複数の決定木と、前記データ取得部により取得された入力データとを用いて、前記移動体の位置を予測する。

【 0 0 1 0 】

好適には、互いに近接して配置された複数の固定装置を固定装置セットとし、前記学習データ選択部は、複数の位置にある前記移動体と、前記固定装置セットに含まれる固定装置それぞれとの間で送受信される電波の受信強度または電波の伝搬時間の実測値の中から、前記学習データセットをランダムに選択し、前記学習部は、選択された複数の学習データセットを用いて、複数の決定木を決定し、前記データ取得部は、前記固定装置セットに含まれる固定装置それぞれによる受信強度または伝搬時間を入力データとして取得し、前記予測部は、決定された複数の決定木と、取得された入力データとを用いて、前記移動体の位置を予測する。

20

【 0 0 1 1 】

好適には、前記固定装置は、複数のタイミングで、前記移動体から送信された電波を受信、または、前記移動体は、複数のタイミングで、前記固定装置から送信された電波を受信し、前記学習データ選択部は、複数の位置にある前記移動体と、前記固定装置それぞれとの間で複数のタイミングで送受信される電波の受信強度または電波の伝搬時間の実測値の中から、前記学習データセットをランダムに選択し、前記学習部は、選択された複数の学習データセットを用いて、複数の決定木を決定し、前記データ取得部は、複数のタイミングにおける前記固定装置の受信強度または伝搬時間を入力データとして取得し、前記予測部は、決定された複数の決定木と、取得された入力データとを用いて、前記移動体の位置を予測する。

30

【 0 0 1 2 】

好適には、前記位置測定装置は、前記予測部による複数の予測結果のばらつき度合に基づいて、前記位置決定部により決定される位置の精度を評価する精度評価部をさらに有する。

【 0 0 1 3 】

40

好適には、決定木のセットは、前記移動体のアンテナの複数の高さそれぞれに関連付けて用意されており、前記予測部による予測結果のばらつきに基づいて、前記移動体のアンテナの高さを判定する高さ判定部をさらに有し、前記位置決定部は、前記高さ判定部により判定された高さに関連付けられた決定木のセットによる予測結果を用いて、前記移動体の位置を決定する。

【 0 0 1 4 】

本発明に係る位置測定システム装置は、移動体の位置を測定する位置測定装置であって、既定の位置に固定された固定装置と、前記移動体との間で送受信される電波の受信強度または電波の伝搬時間を示すデータを入力データとして取得するデータ取得部と、互いに異なる複数の予測方法と、前記データ取得部により取得された入力データとを用いて、前

50

記移動体の位置を予測する予測部と、前記予測部による複数の予測結果に基づいて、前記移動体の位置を決定する位置決定部とを有する。

【 0 0 1 5 】

本発明に係る位置測定システム方法は、固定装置と位置測定装置とを含み、移動体の位置を測定する位置測定方法であって、前記固定装置が、前記移動体から発信された電波を受信するステップと、前記位置測定装置が、前記固定装置と前記移動体との間で送受信される電波の受信強度または電波の伝搬時間を示すデータを入力データとして取得するステップと、前記位置測定装置が、互いに異なる複数の予測方法と、取得された入力データとを用いて、前記移動体の位置を予測するステップと、前記位置測定装置が、前記複数の予測方法による複数の予測結果に基づいて、前記移動体の位置を決定するステップと

10

を有する位置測定方法。

【 0 0 1 6 】

本発明に係るプログラムは、既定の位置に固定された固定装置と、移動体との間で送受信される電波の受信強度または電波の伝搬時間を示すデータを入力データとして取得するステップと、互いに異なる複数の予測方法と、取得された入力データとを用いて、前記移動体の位置を予測するステップと、前記複数の予測方法による複数の予測結果に基づいて、前記移動体の位置を決定するステップとをコンピュータに実行させるプログラム。

【発明の効果】

【 0 0 1 7 】

本発明によれば、より精度の高い位置測定システムを提供することができる。

20

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 8 】

【図 1】位置測定システム 1 の概要を説明する図である。

【図 2】(a) は、固定装置 5 の設置方法を例示する図であり、(b) は、固定装置 5 のアンテナの指向性を例示する図である。

【図 3】固定装置 5 の機能構成を例示する図である。

【図 4】位置測定装置 7 のハードウェア構成を例示する図である。

【図 5】位置測定装置 7 の機能構成を例示する図である。

【図 6】学習データ選択部 7 2 2 の機能を例示する図である。

【図 7】学習部 7 2 4 による構築された X 座標の決定木を例示する図である。

30

【図 8】位置決定部 7 5 0 の機能を例示する図である。

【図 9】信号強度情報を例示する図である。

【図 1 0】位置測定システム 1 により、移動体 3 の高さと位置を決定する方法を例示する図である。

【図 1 1】位置測定システム 1 による学習処理 (S 7 0) のフローチャートである。

【図 1 2】位置測定システム 1 による移動体 3 の位置測定処理 (S 8 0) のフローチャートである。

【図 1 3】変形例に係る位置測定システム 1 の概要を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 9 】

40

図 1 は、本実施形態に係る位置測定システム 1 の概要を説明する図である。

図 1 に例示するように、位置測定システム 1 は、移動体 3 と、固定装置 5 と、位置測定装置 7 とで構成される。

位置測定システム 1 は、移動体 3 と固定装置 5 との間で送受信される電波の受信強度または電波の伝搬時間に基づいて、位置測定装置 7 により、移動体 3 の位置を測定するシステムである。

【 0 0 2 0 】

移動体 3 は、位置の測定対象であり、固定装置 5 から電波を受信する無線通信モジュールであり、電波を送受信するアンテナを有する。また、移動体 3 は、識別番号 (I D) を持ち、位置の測定対象物に取り付けられている。具体的には、移動体 3 は、固定装置 5 か

50

ら受信した電波の受信強度または電波の伝搬時間と、その電波の送信元の固定装置 5 の ID と、自身の ID とを信号強度情報として位置測定装置 7 へ送信する。電波の受信強度とは、例えば RSSI (受信信号強度) であるが、LQI (リンク品質値) などの電波の受信強度と相関のある他の指標でもよい。位置の測定対象物への移動体 3 の取り付け方法は、移動体 3 が送受信する電波を遮蔽しないよう固定されていれば、特に限定されない。

【0021】

固定装置 5 は、無線通信モジュールであり、電波を送受信するアンテナを有する。固定装置 5 は、測定対象である移動体 3 の位置の検出エリア内の各所に設置される。固定装置 5 は、互いに離間した複数の位置に配置されており、移動体 3 と同様に、ID を保有する。

10

【0022】

位置測定装置 7 は、コンピュータであり、移動体 3 から送信される信号強度情報を受信する。具体的には、位置測定装置 7 は、複数の位置に配置された固定装置 5 のいずれかと有線通信もしくは無線通信で接続され、その通信接続された固定装置 5 を経由し、信号強度情報を移動体 3 から受信する。位置測定装置 7 が通信接続された固定装置 5 は、移動体 3 から信号強度情報を直接受信し、もしくは他の固定装置 5 を経由して移動体 3 から信号強度情報を受信し、その情報を位置測定装置 7 に通知する。位置測定装置 7 は、信号強度情報と、予め学習された学習データにより決定された、移動体 3 の位置の複数の予測方法とに基づいて、移動体 3 の位置を決定する。移動体 3 の位置は、位置の検出エリア内の地面もしくは床面上の位置を表す X 座標、Y 座標により示される。X 座標、Y 座標は位置の検出エリアの地面もしくは床面の平面上の位置を示す 2 次元座標であるが、XY 座標系に限定するものではなく、極座標系など他の 2 次元座標系でもよい。

20

【0023】

固定装置 5 が移動体 3 から送信される電波を受信し、信号強度情報を作成し、位置測定装置 7 へ送信することも可能であるが、移動体 3 が固定装置 5 から電波を受信し、信号強度情報を作成し、位置測定装置 7 へ送信することがより好ましい。これは、移動体 3 が各固定装置 5 から電波を受信する方が、位置測定システム 1 において、通信回数やデータ量が少なくなり、通信の輻輳やそれに伴うデータの欠落が発生しにくく、安定的に位置を測定しやすいためである。具体的には、変形例と共に後述する。

【0024】

30

図 2 の (a) は、固定装置 5 の設置方法を例示する図であり、図 2 の (b) は、固定装置 5 のアンテナの指向性を例示する図である。

図 2 の (a) に例示するように、固定装置 5 は、位置の検出エリア内の各所に配置されるが、1 箇所につき複数の固定装置 5 (固定装置 5 A - a 及び固定装置 5 A - b) が配置されている。図 2 の (b) は、固定装置 5 のアンテナを上からみた水平方向の指向性を示しており、固定装置 5 は送信する電波の強度や受信する電波の感度が方向によって異なる。図 2 の (b) より、固定装置 5 A - a は、90° 及び 270° の方向に対する電波の指向性が低いことが分かる。この指向性の低い方向を補うために、固定装置 5 は、1 箇所につき複数互いに近接して配置され、互いに異なる指向性を有する複数の固定装置を固定装置セットとして位置の検出エリア内に配置される。具体的には、固定装置 5 A - a が特定の箇所に設置された場合、固定装置 5 A - a のアンテナの指向性の低い方向を補うような向きに、固定装置 5 A - b を設置する。より具体的には、固定装置 5 A - b を固定装置 5 A - a に対して 90° 回転させた形で設置する。このように固定装置 5 を設置することにより、指向性の影響を少なくすることが可能になる。例えば、指向性の影響により、固定装置 5 A - a と移動体 3 間で送受信される電波の受信強度が弱くなり、さらには通信不安定や通信不能になった場合にも、固定装置 5 A - b と移動体 3 間で送受信される電波の受信強度が指向性の影響で低下することはない。つまり、移動体 3 がいずれの方向にあったとしても、固定装置 5 A - a と固定装置 5 A - b の少なくとも 1 つと、受信強度の低下という指向性の影響を受けることなく通信できる。これにより、指向性の影響で、移動体 3 の位置の測定結果の誤差が大きくなることを防ぐことができる。

40

50

また、アンテナには指向性に加えて偏波面があり、偏波面の影響によっても、固定装置 5 は送信する電波の強度や受信する電波の感度が方向によって異なる。そのため、固定装置 5 A - a が送信する電波の強度や受信する電波の感度が低下する方向を補うような向きに、固定装置 5 A - b を設置しても良い。また、このような偏波面の影響と指向性の影響の双方を考慮して、1 箇所につき 3 個以上の固定装置 5 を設置しても良い。

また、このように固定装置 5 を設置することにより、電波障害物やマルチパスフェージングの影響を少なくすることができる。これは、移動体 3 と電波を送受信する際の電波障害物やマルチパスフェージングの影響の大きさが、このように 1 箇所につき複数設置した固定装置 5 のそれぞれで異なるためである。例えば、電波障害物やマルチパスフェージングの影響により、移動体 3 と固定装置 5 A - a 間で送受信される電波の受信強度が弱くな 10
った信号強度情報が存在したとしても、マルチパスフェージングの影響を受けていない、移動体 3 と固定装置 5 A - b 間で送受信される電波の信号強度情報が測定できれば、マルチパスフェージングの影響を弱めることが可能になる。電波障害物やマルチパスフェージングの影響を少なくするには、固定装置 5 A - a から 2 c m ~ 3 0 c m 離間して固定装置 5 B - b を設置することが好ましい。

ただし、固定装置 5 A - a と移動体 3 間の電波の受信強度と、固定装置 5 A - b と移動体 3 間の電波の受信強度を平均などして一つにまとめることも可能であるが、それぞれを別個の学習データとして、また、入力データとして使用することがより好ましい。これは、測定結果の誤差をより小さくできるためである。

電波の受信強度と同様に、電波の伝搬時間についても、電波障害物やマルチパスフェ 20
ージングの影響を受けるため、位置の検出エリア内の各所に配置される固定装置 5 を、1 箇所につき複数設置することは、有効である。

【 0 0 2 5 】

図 3 は、本実施形態に係る移動体 3 の機能構成を例示する図である。

図 3 に例示するように、本例の移動体 3 には、移動体プログラム 3 0 がインストールされる。

移動体プログラム 3 0 は、電波送受信部 3 0 0、変復調部 3 0 2、送信時間管理部 3 0 4、及び信号強度情報作成部 3 0 6 を有する。

電波送受信部 3 0 0 は、固定装置 5 により送信される電波を複数のタイミングで受信する。さらに、電波送受信部 3 0 0 は、位置測定装置 7 へ、信号強度情報（後述）を含む電 30
波を送信する。具体的には、電波送受信部 3 0 0 は、固定装置 5 により送信される電波を受信し、変復調部 3 0 2 に通知する。さらに、電波送受信部 3 0 0 は、送信時間管理部 3 0 4 により管理される複数のタイミングで信号強度情報（後述）を位置測定装置 7 へ送信する。

【 0 0 2 6 】

変復調部 3 0 2 は、電波送受信部 3 0 0 により受信した電波の復調処理を行い、信号強度情報作成部 3 0 6 へ通知する。また、信号強度情報が通知された場合は、信号強度情報の変調処理を行い、電波送受信部 3 0 0 に通知する。

【 0 0 2 7 】

送信時間管理部 3 0 4 は、電波送受信部 3 0 0 により、固定装置 5 から送信される電波 40
の受信間隔を決定する。具体的には、送信時間管理部 3 0 4 は、電波送受信部 3 0 0 により、0 . 5 秒間隔で固定装置 5 から電波を受信するよう電波送受信部 3 0 0 を制御する。時間間隔の 0 . 5 秒は一例であり、これに限定するものではない。ただし、移動体 3 が 1 0 k m / h 以下の速度で移動する場合には 0 . 0 1 秒 ~ 5 秒の時間間隔が好ましく、0 . 1 秒 ~ 1 秒がさらに好ましい。これは、この時間で、後述するようなマルチパスフェージングや電波障害物の影響の大きさが変化する程度の距離を移動体 3 が移動し、これによりマルチパスフェージングや電波障害物の影響の少ない信号強度情報（後述）を位置測定装置 7 へ送信することが可能になるためであり、かつ、位置測定システム 1 が位置を求めるために発生する時間遅れ（後述）を最小限にとどめることができるためである。

【 0 0 2 8 】

10

20

30

40

50

信号強度情報作成部 306 は、信号強度情報を作成する。具体的には、信号強度情報作成部 306 は、変復調部 302 により復調された電波に基づいて、固定装置 5 の ID を取得し、電波の受信信号強度 (RSSI 値) を測定する。そして、信号強度情報作成部 306 は、固定装置 5 の ID と、自身の ID と、RSSI 値とが関連付けられたデータを信号強度情報として作成し、変復調部 302 に通知する。

【0029】

なお、移動体プログラム 30 の一部又は全部は、ASIC などのハードウェアにより実現されてもよい。また、移動体プログラム 30 は、例えば、CD-ROM などの記録媒体に格納されており、この記録媒体を介してインストールされる。

【0030】

図 4 は、位置測定装置 7 のハードウェア構成を例示する図である。

図 4 に例示するように、位置測定装置は、CPU 200、メモリ 202、HDD 204、ネットワークインタフェース 206 (ネットワーク IF 206)、表示装置 208、及び入力装置 210 を有し、これらの構成はバス 212 を介して互いに接続している。

CPU 200 は、例えば、中央演算装置である。

メモリ 202 は、例えば、揮発性メモリであり、主記憶装置として機能する。

HDD 204 は、例えば、ハードディスクドライブ装置であり、不揮発性の記録装置としてコンピュータプログラムやその他のデータファイルを格納する。

ネットワーク IF 206 は、有線又は無線で通信するためのインタフェースであり、固定装置 5 との通信を実現する。

表示装置 208 は、例えば、液晶ディスプレイである。

入力装置 210 は、例えば、キーボード及びマウスである。

【0031】

図 5 は、本実施形態に係る位置測定装置 7 の機能構成を例示する図である。

図 5 に例示するように、位置測定装置 7 には、位置測定プログラム 70 がインストールされると共に、学習データデータベース 600 (学習データ DB 600) が構成される。

位置測定プログラム 70 は、学習データ取得部 700、入力データ作成部 710、予測部 720、精度評価部 730、高さ判定部 740、位置決定部 750、及び表示部 760 を有する。さらに、予測部 720 は、学習データ選択部 722、学習部 724、及び位置予測部 726 を有する。

なお、位置測定プログラム 70 の一部又は全部は、ASIC などのハードウェアにより実現されてもよい。また、位置測定プログラム 70 は、例えば、CD-ROM などの記録媒体に格納されており、この記録媒体を介してインストールされる。

【0032】

学習データ取得部 700 は、移動体 3 の複数の位置に関連付けられた複数の信号強度情報のデータを取得する。具体的には、移動体 3 を計測対象エリアの様々な位置に置き、あるいは計測対象エリアで移動体 3 を移動させながら、移動体 3 から一定の時間間隔で送信される信号強度情報を複数回受信する。学習データ取得部 700 は、信号強度情報と、信号強度情報を受信した時刻と、その時刻における移動体 3 の位置 (X, Y) が関連付けられたデータを学習データとして作成し、学習データ DB 600 に格納する。

【0033】

入力データ作成部 710 は、移動体 3 と固定装置 5 との間で送受信される電波の受信強度または電波の伝搬時間を示すデータを移動体 3 から受信し、移動体 3 の位置の測定に用いる入力データを作成する。具体的には、入力データ部 710 は、移動体 3 により送信される信号強度情報を複数回受信し、受信した時刻を信号強度情報に関連付けて、入力データを作成する。入力データ作成部 710 は、作成した入力データを予測部 720 に通知する。入力データ作成部は、本発明に係るデータ取得部の一例である。

【0034】

予測部 720 は、互いに異なる複数の予測方法と、入力データ作成部 710 により作成された入力データとを用いて、移動体 3 の位置を予測する。予測方法とは、学習データ選

10

20

30

40

50

択部 722 (後述) 及び学習部 724 (後述) により決定される移動体 3 の位置を予測する予測モデルを示した決定木である。具体的には、予測部 720 は、Random Forest (ランダムサンプリングされたデータに基づいて、決定した多数の決定木を使用する機械学習アルゴリズム) を使用して移動体 3 の位置を予測する。

【0035】

学習データ選択部 722 は、移動体 3 の複数の位置に関連付けられた複数の受信強度または電波の伝搬時間のデータの中から、複数のデータの組合せと、データに含まれる受信強度または伝搬時間の組み合わせとを学習データセットとして選択する。また、学習データ選択部 722 は、複数の位置にある移動体 3 と、複数の固定装置 5 それぞれとの間で送受信される電波の受信強度または電波の伝搬時間の実測値の中から、学習データセットをランダムに選択する。さらに、学習データ選択部 722 は、複数の位置にある移動体 3 と、固定装置セットに含まれる固定装置 5 それぞれとの間で送受信される電波の受信強度または電波の伝搬時間の実測値の中から、学習データセットをランダムに選択する。具体的には、学習データ選択部 722 は、学習データ DB 600 から、複数の学習データと複数の説明変数を学習データセットとしてランダムに選択する。学習データ選択部 722 は、このようにランダムに選択した学習データセットを複数用意する。

【0036】

ここで、学習データ選択部 722 による複数の学習データセットの選択方法について説明する。

図 6 は、学習データ選択部 722 による複数の学習データセットの選択を表す図である。

図 6 に例示するように、学習データ選択部 722 は、目的変数である移動体 3 の位置 (X, Y) に関連付けられた、時刻と固定装置 5 の ID から定まる説明変数、及びその説明変数の値である RSSI 値を保持する学習データから複数の学習データと複数の説明変数をランダムに選択し、学習データセットを複数作成する。学習部 724 (後述) は、各学習データセットに基づいて、決定木を構築する。例えば、図 6 に示すように、学習部 724 は、データ 1 やデータ 5 等の、現在時刻の固定装置 5 A - a の RSSI 値や 0.5 秒前の固定装置 5 A - b の RSSI 値等に基づいて、決定木 1 を構築する。つまり、図 6 における決定木 1 ~ 決定木 m は、それぞれ異なるデータ及び異なる説明変数に基づいて構築される。そのため、位置測定システム 7 は、複数の異なる決定木を有する。

【0037】

学習部 724 は、学習データ選択部 722 によりランダムに選択された複数の学習データセットを用いて、移動体 3 の位置の予測に用いる複数の決定木を決定する。決定木とは、木構造を利用して、入力データに対応する予測値を決定するアルゴリズムを表現したものである。

図 7 は、学習部 724 による構築された X 座標の決定木の例である。

図 7 に例示するように、決定木の内部節点は説明変数に対応し、子節点への枝はその変数の取り得る値を示す。決定木の葉 (端点) は、根 (root) からの経路によって表される説明変数値に対して、目的変数の予測値を表す。具体的には、学習部 724 は、学習データ選択部 722 により作成された学習データセットに基づいて、移動体 3 の X 座標を予測するための決定木と、移動体 3 の Y 座標を予測するための決定木とを、学習データセット毎に決定する。つまり、学習部 724 は学習データセットに基づき、移動体 3 の位置を予測する複数の決定木、すなわち決定木のセットを X 座標と Y 座標それぞれに決定する。

【0038】

位置予測部 726 は、学習部 724 により決定された複数の決定木それぞれと、取得された入力データとを用いて、移動体 3 の位置の予測結果を複数出力する。また、位置予測部 726 は、複数のタイミングで移動体 3 から受信された信号強度情報を入力データとして移動体 3 の位置を予測する。具体的には、位置予測部 726 は、入力データ作成部 710 により作成された入力データと、学習部 724 により決定された複数の決定木とに基づいて、移動体 3 の位置を決定木毎に予測する。より具体的には、位置予測部 726 は、学

習部 724 により決定された各決定木に従って、入力データを用いた分岐を実施し、移動体 3 の予測位置を複数決定する。

【0039】

精度評価部 730 は、予測部 720 による複数の予測結果のばらつき度合に基づいて、位置決定部 750（後述）により決定される位置の精度を評価する。

具体的には、精度評価部 730 は、位置予測部 726 が予測した予測結果の精度指標を、移動予測部 726 の予測結果の分散や標準偏差に基づいて求める。この際、分散や標準偏差が大きい場合は精度が低く、これらが小さい場合は精度が高いと評価する。さらに、精度評価部 730 は、評価した精度指標を、高さ判定部 740 に通知する。

そして、精度評価部 730 は、精度指標を表示部 760 に通知する。また、一定期間、精度が低い評価が頻発しているか否かを判定し、一定期間、精度が低い評価が頻発していると判定した場合に、表示部 760 に一定期間、精度が低い評価が頻発していることを通知する。

【0040】

高さ判定部 740 は、位置予測部 726 により出力された移動体 3 の位置の予測結果のばらつきに基づいて、移動体 3 のアンテナの高さを判定する。

具体的には、高さ判定部 740 は、位置予測部 726 が予測した予測結果の中から、精度評価部 730 により通知された精度指標の評価が最も高い予測結果を採用し、位置決定部 750 に通知する。

より具体的には、移動体 3 の高さ毎に決定木のセット（学習器）が構築されており、決定木のセット毎の予測結果が存在する場合に、高さ判定部 740 は、決定木のセット毎の予測結果のうち、最も精度の高い予測結果を位置決定部 750 に通知する。また高さ判定部 740 は、最も精度の高い予測結果を出した学習器の高さを、移動体 3 の高さに近い高さであると判定して、位置決定部 750 に通知する。

【0041】

位置決定部 750 は、予測部 720 による複数の予測結果に基づいて、移動体 3 の位置を決定する。また、位置決定部 750 は、高さ判定部 740 により判定された高さに関連付けられた決定木のセットによる予測結果を用いて、移動体 3 の位置を決定する。

具体的には、図 8 に例示するように、位置決定部 750 は、予測部 720 により、各決定木から導かれた移動体 3 の位置の複数（図 8 では m 個）の予測結果の平均値を、移動体 3（ID10）の位置の測定結果とする。また、移動体 3 の高さ毎に決定木のセット（学習器）が構築されており、決定木のセット毎の予測結果が存在する場合には、高さ判定部 740 から通知された予測結果の平均値を測定結果とする。位置決定部 750 は、測定結果を移動体 3 の位置として表示部 760 に通知する。また、位置決定部 750 は、移動体 3 の高さが高さ判定部 740 により通知されている場合は、測定結果と共に移動体 3 の高さを表示部 760 に通知する。

【0042】

表示部 760 は、位置決定部 750 により通知された移動体 3 の位置を、移動体 3 の ID、移動体 3 の高さに近いと判定された値、及び精度評価部 730 により通知された精度指標と共に表示する。

また、精度評価部 730 により、一定期間、精度が低い評価が頻発していると通知を受けた場合は、表示部 760 は、決定木が適正に機能していない、及び、再学習（学習データの再取得と、それに基づく決定木の構築）が必要であることを表示する。

【0043】

図 9 は、位置測定装置 7 により作成される入力データを例示する図である。

移動体 3 は、固定装置 5 から送信される電波を受信し、信号強度情報を位置測定装置 7 へ送信する。信号強度情報には、移動体 3 の ID、移動体 3 が受信した電波の送信元の固定装置 5 の ID、及びその RSSI が含まれる。移動体 3 は、このような信号強度情報を時間間隔を空けて複数回送信する。図 9 に例示するように、位置測定装置 7 は、移動体 3 から送信される信号強度情報を複数回受信し、信号強度情報に受信した時刻を関連付けて

10

20

30

40

50

入力データを作成する。

図 9 に例示するように、入力データには、信号強度情報を受信した時刻、移動体 3 が受信した電波の送信元の固定装置 5 の ID、移動体 3 の ID、及び RSSI が含まれ、位置測定装置 7 は、作成した入力データを移動体 3 の位置測定に用いる。

【 0 0 4 4 】

次に、位置測定システム 1 による、入力データに含まれる、信号強度情報を受信した時刻の利用方法について説明する。

位置測定システム 1 は、入力データのうち、現時刻の RSSI だけではなく、過去の時刻（0.5 秒前、1.0 秒前）の RSSI を含めた入力データに基づいて、移動体 3 の位置を測定する。

移動体 3 の位置が僅かに変化しただけで、マルチパスフェージングの影響の程度は大きく異なるため、移動体 3 が移動中の場合には、時間とともにマルチパスフェージングの影響の度合いは変化する。そのため、ある瞬間の RSSI 値のみに基づいて移動体 3 の位置を決定した場合、その RSSI 値がマルチパスフェージングの影響を大きく受けていた場合には、位置測定の結果と実際の移動体 3 の位置との誤差が大きくなる可能性がある。しかし、位置測定システム 1 は、例えば、マルチパスフェージングの影響を受けている現時刻だけではなく、現時刻に近い、マルチパスフェージングの影響が少ない可能性のある過去の RSSI 値も用いて移動体 3 の位置を決定することにより、実際の移動体 3 の位置との誤差を小さくすることを可能にする。

【 0 0 4 5 】

また、移動体 3 が移動中に限らず、検出エリア内に電波障害物の移動物がある場合も、移動物によって検出エリア内を伝搬する電波の反射や、屈折、回折、吸収の状態が変わることによりマルチパスフェージングの影響が変化し、RSSI 値は、時刻により変化する可能性がある。電波障害物の移動物とは、検出エリア内を移動する金属製の物品に限らず、人間（人体）を含む。さらに、固定装置 5 から移動機 3 への送信される電波の直接波が、電波障害物の移動物に反射、屈折、回折、吸収されることによっても、RSSI 値は時刻により変化する。したがって、移動体 3 が静止している場合においても、検出エリア内に電波障害物の移動物がある場合には、現時刻の RSSI だけではなく、過去の時刻の RSSI を含めた入力データに基づいて、移動体 3 の位置を測定することは有効である。

【 0 0 4 6 】

また、位置測定システム 1 は、基準となる時刻の前後の時刻の RSSI 値に基づいて、移動体 3 の位置を決定することがより好ましい。例えば、位置測定システム 1 は、現時刻～2 秒前の RSSI 値に基づいて、現時刻から 1.0 秒前の移動体 3 の位置を決定する。これは、位置測定システム 1 が位置を求めるために時間遅れが発生するが、RSSI 値がマルチパスフェージングや電波障害物の影響を大きく受けて不規則に変化したノイズ的なデータであるかどうかの判断が機械学習でより行いやすくなることから、より精度良く位置を検出することができるためである。

【 0 0 4 7 】

図 10 は、移動体 3 の高さが一定でない場合の移動体 3 の位置測定方法について例示する図である。

図 10 に例示するように、位置測定装置 7 は、予め、2 つ以上の異なる、移動体 3 の高さにおいて、各固定装置 5 と移動体 3 との信号強度情報を取得し、学習データを作成して、高さ毎に学習器を構築する。学習器を構築するとは、学習データ選択部 7 2 2 により、学習データの組み合わせをランダムに選択し、学習部 7 2 4 により、学習データ選択部 7 2 2 により選択されたデータの組み合わせに基づいて、複数の決定木すなわち決定木のセットを決定することである。

位置予測部 7 2 6 は、入力データ作成部 7 1 0 により、作成された入力データと、高さ毎の各決定木とに基づいて、高さ毎の移動体 3 の位置の予測結果を出力する。

さらに、精度評価部 7 3 0 は、高さ毎の移動体 3 の位置の予測結果を評価し、高さ判定部 7 4 0 は、精度評価部 7 3 0 によりばらつきが少ないと評価された予測結果を出力した

10

20

30

40

50

高さを、移動体 3 の高さに近いと判定する。

そして、位置決定部 750 は、ばらつきが少ないと評価された予測結果に基づいて、移動体 3 の位置を決定する。

【0048】

移動体 3 及び固定装置 5 が有するアンテナには指向性や偏波面があり、送信される電波の強度や受信する電波の感度が方向によって異なるため、RSSI は、移動体 3 の高さが変化し、それにより移動体 3 から固定装置 5 への方が変化しただけでも、大きく異なってくる。また、電波障害物による影響や、マルチパスフェージングの影響が移動体 3 の高さによって変化し、結果、RSSI が変化することがある。したがって、移動体 3 の XY 座標上の位置が同一であっても、Z 座標の位置が異なれば、RSSI は、大きく異なる場合がある。この課題に対して、位置測定システム 1 は、複数の高さにおいて、学習器を構築し、構築した学習器のうち、予測結果の精度が高い学習器を採用することにより、移動体 3 の高さに、より近い学習器を用いて移動体 3 の位置を予測できるため、より正確な移動体 3 の位置を測定することが可能である。

10

【0049】

図 11 は、位置測定システム 1 による、学習処理 (S70) を説明するためのフローチャートである。

図 11 に例示するように、ステップ 700 (S700) において、学習データ取得部 700 は、計測対象エリアの様々な位置に置かれた移動体 3 と各固定装置 5 との間の信号強度情報を受信し、学習データを作成する。具体的には、学習データ取得部 700 は、測定された移動体 3 の位置 (X, Y) と、信号強度情報と、信号強度情報を受信した時刻とが関連付けられた学習データを作成し、学習データ DB 600 に格納する。

20

【0050】

ステップ 705 (S705) において、学習データ選択部 722 は、学習データ DB 600 から、複数の学習データと複数の説明変数を学習データセットとしてランダムに選択する。また、学習データ選択部 722 は、複数の学習データセットを用意する。

【0051】

ステップ 710 (S710) において、学習部 724 は、学習データ選択部 722 により選択された複数の学習データセットを用いて、移動体 3 の位置の予測に用いる複数の決定木を決定する。

30

【0052】

ステップ 715 (S715) において、位置測定システム 1 は、X 座標用、Y 座標用の学習器が構築されたか否かを判定する。それぞれの学習器が構築されていない場合は、学習処理 (S70) は、S710 へ移行し、X 座標を決定するための決定木、及び Y 座標を決定するための決定木を構築する。

【0053】

ステップ 720 (S720) において、移動体 3 の高さが一定でない場合に、学習処理 (S70) は、S725 へ移行する。移動体 3 の高さが一定である場合は、学習処理 (S70) は、終了する。

【0054】

40

ステップ 725 (S725) において、位置測定システム 1 は、移動体 3 の高さ毎の学習器が構築されたか否かを判定する。移動体 3 の高さ毎の学習器が構築されていない場合に、学習処理 (S70) は、S730 へ移行し、移動体 3 の高さ毎の学習器が構築されている場合に、学習処理 (S70) は、終了する。

【0055】

ステップ 730 (S730) において、測定者は、移動体 3 の高さを変更し、移動体 3 を計測対象エリアの様々な位置に置く。その後、学習処理 (S70) は、S700 に移行し、移動体 3 の複数の高さ毎の学習器が構築されるまで処理を続ける。

【0056】

図 12 は、位置測定システム 1 による、位置測定処理 (S80) を説明するためのフロ

50

ーチャートである。

移動体 3 の複数の高さ毎の X 座標用の学習器及び Y 座標用の学習器が構築されているものとする。

図 12 に例示するように、ステップ 800 (S800) において、入力データ作成部 710 は、移動体 3 から送信される信号強度情報に時刻情報を関連付けて入力データを作成し、位置予測部 726 へ通知する。

【0057】

ステップ 805 (S805) において、位置予測部 726 は、入力データ作成部 710 より通知された入力データのうち、現在の時刻及び過去の時刻の信号強度情報と、学習部 724 により決定された複数の決定木とに基づいて、移動体 3 の位置を決定木毎に予測する。S805 は、X 座標の予測位置を決定するための複数の決定木 (X 座標用の学習器) に基づいた位置の予測結果と、Y 座標の予測位置を決定するための複数の決定木 (Y 座標用の学習器) に基づいた位置の予測結果を出力する。

位置予測部 726 は、予測した決定木毎の予測結果を精度評価部 730 及び位置決定部 750 に通知する。

【0058】

ステップ 810 (S810) において、位置測定システム 1 は、移動体 3 の全ての高さ毎の予測結果が出力されたか否かを判定する。すなわち、移動体 3 の全ての高さ毎の X 座標用及び Y 座標用の決定木のセットに基づいた位置の予測結果が出力されたか否かを判定する。

位置測定処理 (S80) は、移動体 3 の全ての高さ毎の予測結果が出力された場合に、S815 に移行し、移動体 3 の全ての高さ毎の予測結果が出力されていない場合に、S805 に移行する。

【0059】

ステップ 815 (S815) において、精度評価部 730 は、位置予測部 726 から通知された移動体 3 の位置の決定木毎の予測結果の精度 (ばらつき度合い) を、高さ毎に評価する。精度評価部 730 は、精度の評価結果を高さ判定部 740 と表示部 760 に通知する。位置測定処理 (S80) は、精度評価部 730 によりいずれかの高さで精度が高い (ばらつき度合いが小さい) と判定された場合に、S820 へ移行し、精度評価部 730 によりすべての高さにおいて精度が低い (ばらつき度合いが大きい) と判定された場合に、S840 へ移行する。

【0060】

ステップ 820 (S820) において、高さ判定部 740 は、精度評価部 730 により通知された、全ての高さ毎の予測結果のうち、最も精度が高い予測結果を採用し、位置決定部 750 に通知する。さらに、高さ判定部 740 は、最も精度が高い予測結果を導いた学習器の高さも、移動体 3 の高さに近い高さとして、位置決定部 750 に通知する。

【0061】

ステップ 825 (S825) において、位置決定部 750 は、高さ判定部 740 により通知された予測結果の平均値を計算し移動体 3 の位置とし、高さ判定部 740 により通知された高さと共に、表示部 760 に通知する。

【0062】

ステップ 830 (S830) において、表示部 760 は、位置決定部 750 により通知された移動体 3 の位置を移動体 3 の ID、精度の評価結果、及び移動体 3 の高さと共に表示する。

【0063】

ステップ 835 (S835) において、位置決定部 750 は、決定した移動体 3 の位置を、入力データ作成部 710 により通知された入力データと関連付け、学習データとして学習データ DB 600 に格納する。

【0064】

ステップ 840 (S840) において、精度評価部 730 は、一定期間、精度が低い評

10

20

30

40

50

価が頻発しているか否かを判定し、位置測定処理（S 8 0）は、精度評価部 7 3 0 により、一定期間、精度が低い評価が頻発していると判定された場合に、S 8 4 5 に移行し、一定期間、精度が低い判定が頻発していないと判定された場合に、S 8 2 0 に移行する。

【 0 0 6 5 】

ステップ 8 4 5（S 8 4 5）において、表示部 7 6 0 は、学習器が適正に機能していない、及び、再学習が必要であることを表示し、学習処理（S 7 0）へ移行する。

【 0 0 6 6 】

以上説明したように、本実施形態の位置測定システム 1 は、移動体 3 と固定装置 5 間で送受信される電波の強度に基づいて、Random Forest を用いて、移動体 3 の位置を決定する。電波の強度は、移動体 3 と固定装置 5 間の距離によって変化し、一般に、距離が大きいほど電波の強度は低下するが、距離のみならず、アンテナの指向性や偏波面、マルチパスフェージング、電波障害物の影響によっても電波の強度が変化する。これに対し、位置測定システム 1 は、固定装置 5 を、固定装置 5 のアンテナの指向性の低い方向を補うように、また偏波面の影響を補うように、2 cm ~ 3 0 cm 離間して、1 箇所につき複数設置するため、指向性や偏波面の影響を受けにくくなると共に、移動体 3 と固定装置 5 間で送受信される信号強度情報には、マルチパスフェージング、及び電波障害物の影響を受けたものだけでなく、影響の少ない RSSI 値のデータも含まれる。したがって、位置測定システム 1 は、決定木を構築するための学習データ及び位置を決定するための入力データに、これらの影響の少ない RSSI 値のデータを含むことが可能であり、結果、位置測定システム 1 は、より精度の高い移動体 3 の位置を決定することができる。

【 0 0 6 7 】

また、位置測定システム 1 は、学習データ及び位置を決定するための入力データに、移動体 3 と固定装置 5 間で電波が送受信された複数の時刻における RSSI 値を含む。これにより、学習データ及び位置を決定するための入力データに、ある時刻において、マルチパスフェージング、及び電波障害物の影響を受けた RSSI 値が含まれていても、他の時刻において、その影響を受けていない RSSI 値も含まれるため、マルチパスフェージング、及び電波障害物の影響を受けた RSSI 値の影響を少なくすることができ、より精度の高い移動体 3 の位置を決定することができる。

【 0 0 6 8 】

さらに、位置測定システム 1 における学習データの説明変数の数は、固定装置 5 の設置箇所の数 × 各設置箇所における固定装置 5 の数 × 固定装置 5 と移動体 3 間で電波が送受信される時刻数となるため、学習データの説明変数は膨大な数となる。このように、目的変数（移動体 3 の位置）を予測するために、膨大な数の説明変数を用いることは、一般的に、汎化能力の低下につながる。つまり、学習データに含まれていない未知の入力データやノイズを含む入力データに対する予測の精度が低下することになる。これに対し、位置測定システム 1 は、Random Forest を用いることにより、学習データ選択部 7 2 2 が、学習データ DB 6 0 0 から学習データをランダムに選択した上で、膨大な数の説明変数を全て使用するのではなく、ランダムに選択された一部の説明変数のみを使用して、移動体 3 の位置の予測に用いる複数の決定木（学習器）を決定するため、説明変数の数が膨大であっても、高い汎化能力を有することが可能である。これにより、マルチパスフェージングや電波障害物の影響で入力データにノイズを含むなど、学習データと入力データとが異なる場合でも、移動体 3 の位置を精度よく予測することが可能である。

【 0 0 6 9 】

加えて、位置測定システム 1 は、決定木に基づいて出力した予測結果のばらつき度合いに基づいて、移動体 3 の位置の測定結果の精度を求める。また、位置測定システム 1 は、予め、移動体 3 の高さ毎の学習器を構築しておくことにより、高さ毎の学習器の移動体 3 の予測結果の精度に基づいて、移動体 3 の高さを予測することも可能にする。

【 0 0 7 0 】

なお、上記実施形態では、固定装置 5 は、位置の検出エリア内の 1 箇所につき 2 つの固定装置 5 が配置されている場合について説明したが、これに限らず、ある固定装置 5 の感

10

20

30

40

50

度の弱い角度を別の固定装置 5 の感度の強い角度となるような向きで設置できれば、3 つ、又はそれ以上の固定装置 5 を 1 箇所を設置してもよい。

また、上記実施形態では、固定装置 5 は位置の検出エリア内の 4 箇所に配置されている場合について説明したが、これに限らず、検出エリアが広い場合などは、その広さに応じて配置箇所を増やしてもよい。

【 0 0 7 1 】

[変形例]

図 1 3 は、変形例に係る位置測定システム 1 の概要を説明する図である。

上記実施形態では、固定装置 5 が発信する電波を移動体 3 が受信する場合について説明したが、移動体 3 が発信する電波を固定装置 5 が受信してもよい。

10

図 1 3 に例示するように、変形例では、移動体 3 から発信される電波を受信した複数の固定装置 5 が、それぞれで信号強度情報を作成し、各固定装置 5 から個別に位置測定装置 7 へ信号強度情報を送信する。具体的には、固定装置 5 A と移動体 3、固定装置 5 B と移動体 3、固定装置 5 C と移動体 3、及び固定装置 5 D と移動体 3 間の信号強度情報を各固定装置 5 で作成し、各固定装置 5 が位置測定装置 7 へと信号強度情報を送信する。信号強度情報を送信する際は、信号強度情報は、固定装置 5 を経由し、位置測定装置 7 に接続された固定装置 5 から位置測定装置 7 へ送信される。例えば、固定装置 5 C は、固定装置 5 A 及び固定装置 5 B を経由して信号強度情報を位置測定装置 7 へ送信する。

【 0 0 7 2 】

しかし、図 1 3 に例示するように、位置測定装置 7 が接続されている固定装置 5 B 周辺の通信量が増大している。つまり、変形例では、特定の移動体 3 に関する信号強度情報を収集するために、位置測定装置 7 は、固定装置の数に応じた回数の通信が必要となり、データ量も多くなるため、上記実施形態のように、移動体 3 が固定装置 5 から受信した電波に基づいて、信号強度情報を作成し、位置測定装置 7 に送信することがより好ましい。

20

【 0 0 7 3 】

上記実施形態では、移動体 3 と固定装置 5 との間で送受信される電波の受信強度を用いて移動体 3 の位置を測定しているが、移動体 3 と固定装置 5 との間で送受信される電波の伝搬時間 (T O F : T i m e O f F l i g h t) に基づいて、移動体 3 の位置を測定してもよい。電波の伝搬時間に基づいて、移動体 3 の位置を測定する場合は、学習データには、R S S I の代わりに電波の伝搬時間が含まれ、入力データには、R S S I の代わりに電波の伝搬時間が含まれる。

30

【 符号の説明 】

【 0 0 7 4 】

1 ... 位置測定システム

3 ... 移動体

5 ... 固定装置

7 ... 位置測定装置

5 0 ... 固定装置プログラム

7 0 ... 位置測定プログラム

2 0 0 ... C P U

2 0 2 ... メモリ

2 0 4 ... H D D

2 0 6 ... ネットワーク I F

2 0 8 ... 表示装置

2 1 0 ... 入力装置

2 1 2 ... バス

3 0 0 ... 電波送受信部

3 0 2 ... 変復調部

3 0 4 ... 送信時間管理部

3 0 6 ... 信号強度情報作成部

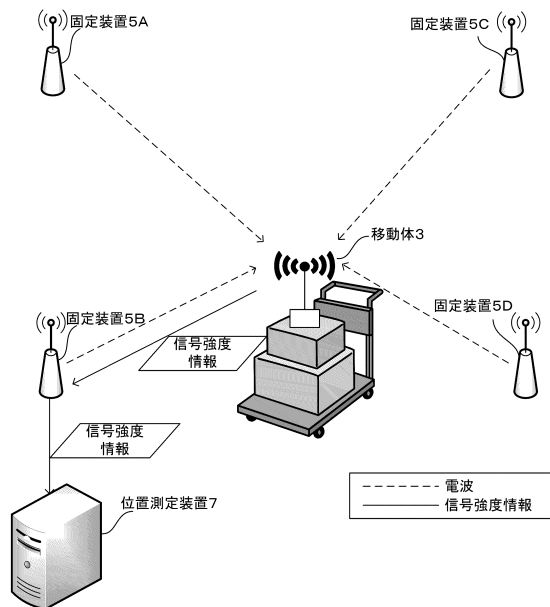
40

50

6 0 0 ... 学習データデータベース
 7 0 0 ... 学習データ取得部
 7 1 0 ... 入力データ作成部
 7 2 0 ... 予測部
 7 2 2 ... 学習データ選択部
 7 2 4 ... 学習部
 7 2 6 ... 位置予測部
 7 3 0 ... 精度評価部
 7 4 0 ... 高さ判定部
 7 5 0 ... 位置決定部
 7 6 0 ... 表示部

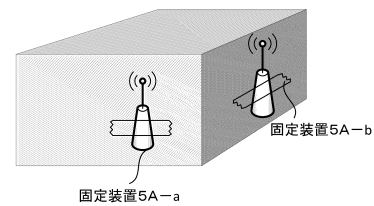
10

【図 1】

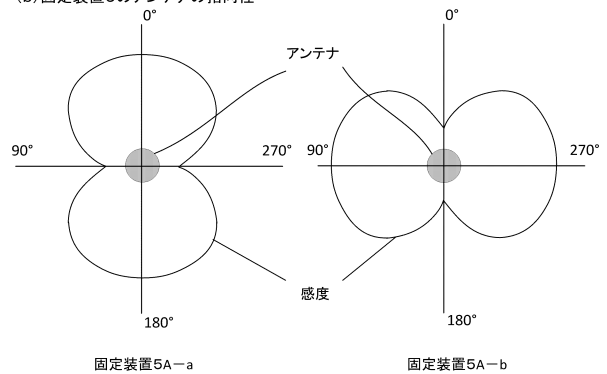


【図 2】

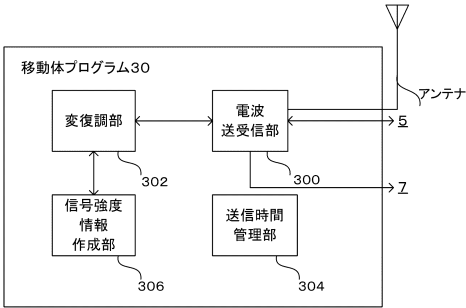
(a) 固定装置5の設置方法



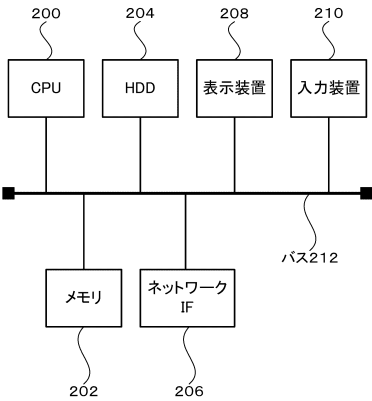
(b) 固定装置5のアンテナの指向性



【図 3】

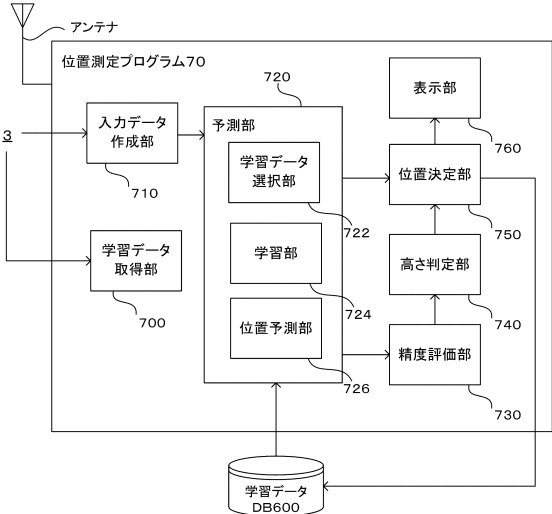


【図 4】

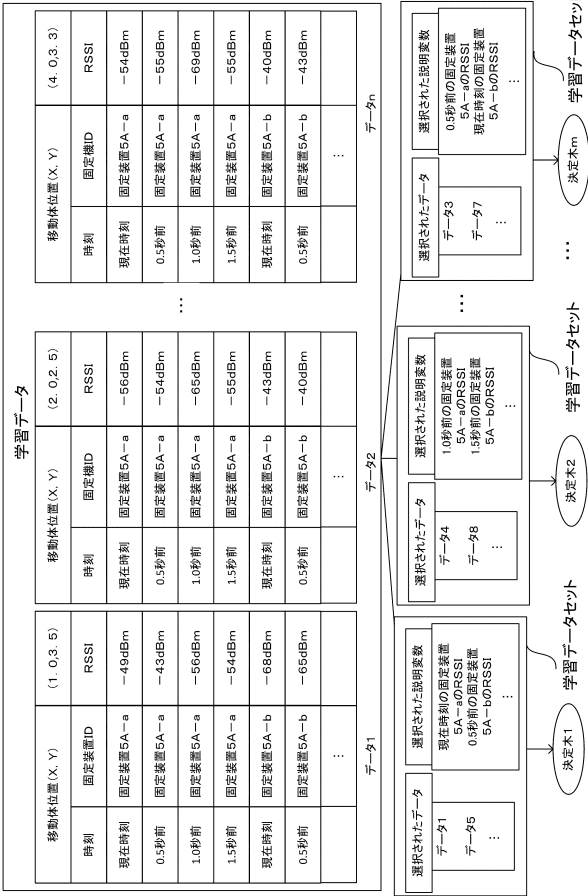


位置測定装置7

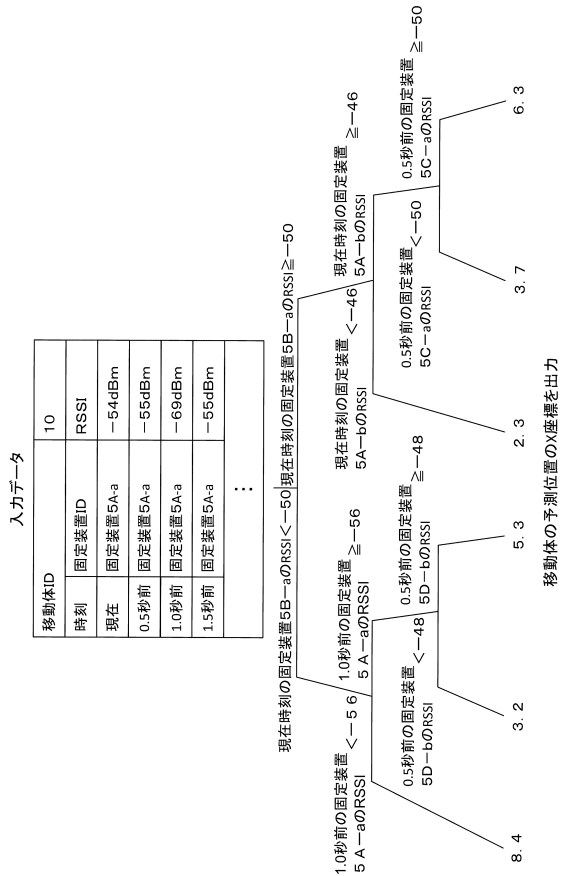
【図 5】



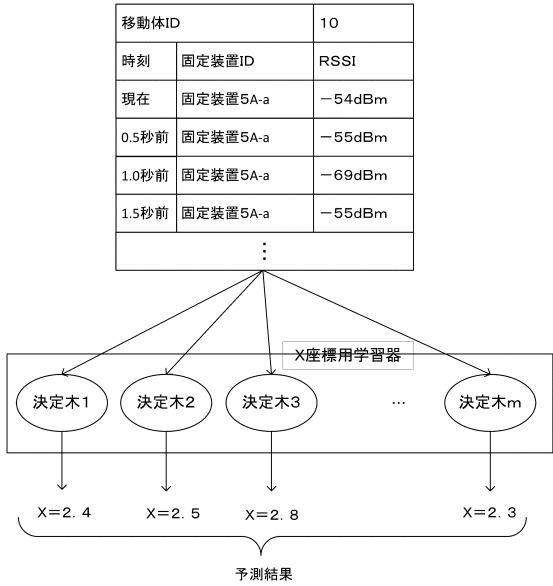
【図 6】



【図 7】



【図 8】

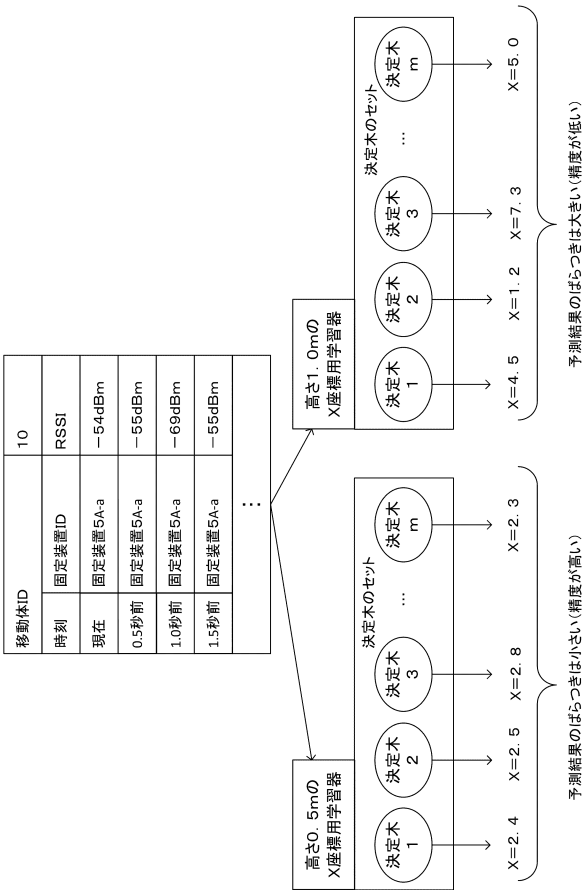


【図 9】

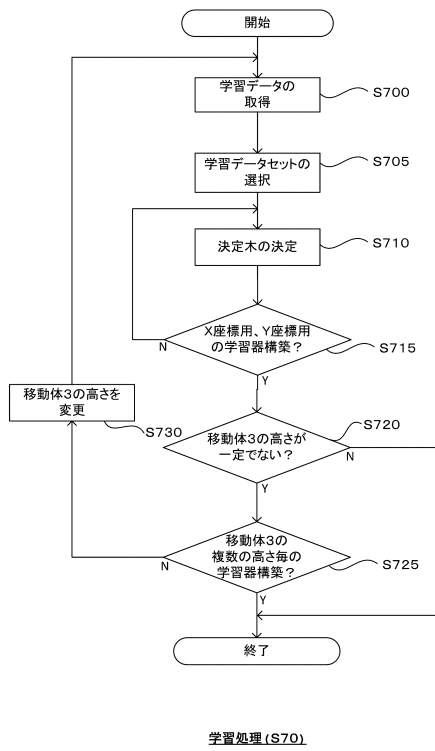
移動体ID		10
時刻	固定装置ID	RSSI
現在	固定装置5A-a	−54dBm
0.5秒前	固定装置5A-a	−55dBm
1.0秒前	固定装置5A-a	−69dBm
1.5秒前	固定装置5A-a	−53dBm
現在	固定装置5A-b	−60dBm
0.5秒前	固定装置5A-b	−55dBm
1.0秒前	固定装置5A-b	−54dBm
1.5秒前	固定装置5A-b	−55dBm
現在	固定装置5B-a	−40dBm
0.5秒前	固定装置5B-a	−42dBm
1.0秒前	固定装置5B-a	−38dBm
1.5秒前	固定装置5A-a	−42dBm
現在	固定装置5B-b	−50dBm
0.5秒前	固定装置5B-b	−55dBm
1.0秒前	固定装置5B-b	−60dBm
1.5秒前	固定装置5B-b	−53dBm
⋮		
入力データ		

入力データ

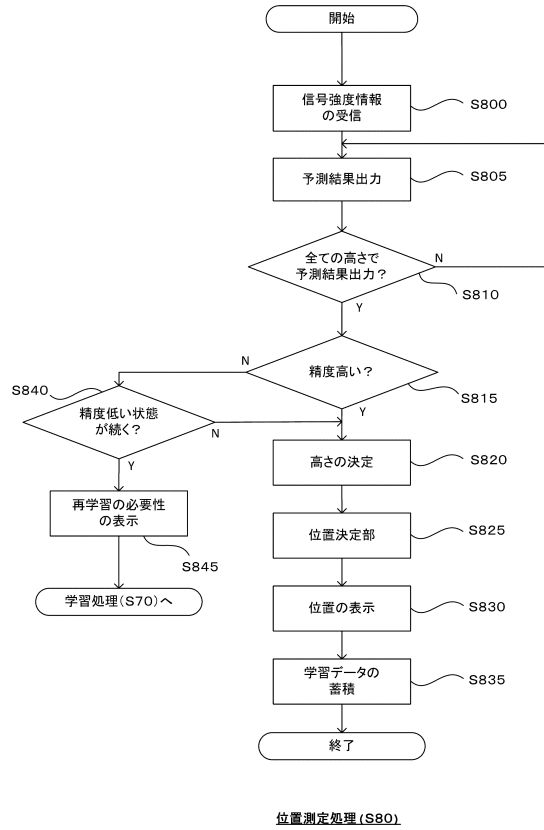
【図 10】



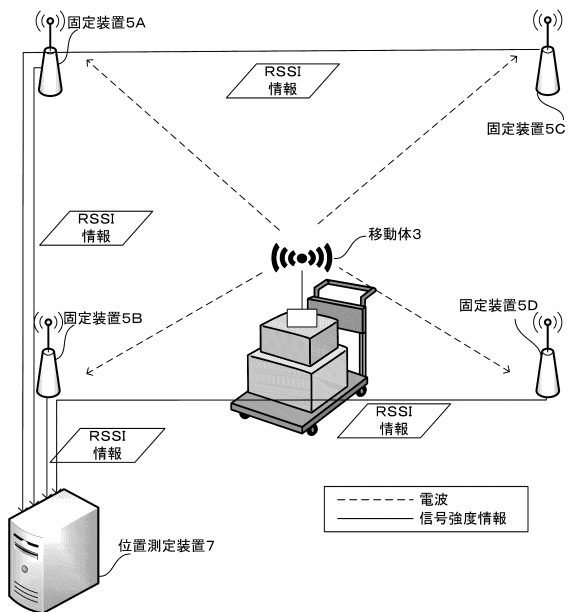
【図 1 1】



【図 1 2】



【図 1 3】



フロントページの続き

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

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G 0 1 S	5 / 0 0 -	5 / 1 4
H 0 4 B	7 / 2 4 -	7 / 2 6
H 0 4 W	4 / 0 0 -	9 9 / 0 0