

明 細 書

発明の名称： 位置検出装置、位置検出システム及び位置検出方法
技術分野

[0001] 本発明は、位置検出装置、位置検出システム及び位置検出方法に関するものである。

背景技術

[0002] 従来、車両用ナビゲーション装置、携帯電話機、スマートフォン等の可搬装置においては、GPS (Global Positioning System) 受信器を含む位置検出装置を備え、地球を周回するGPS衛星からの信号を受信し、現在位置を検出して表示画面等に出力するようになっている。

[0003] しかし、可搬装置を有する車両や人物が都市部や山間部を通過する際には、GPS衛星が発信する電波は、高層ビル等の構造物や樹木、地形等による遮蔽（へい）、反射、回折、散乱等の影響を受け、様々なパスを経由してGPS受信器に到達することとなる。つまり、都市部や山間部では、GPS受信器がマルチパスの影響を受けることとなるので、位置検出装置は、正確な現在位置を出力することができなくなる。

[0004] そこで、補正によってマルチパスの影響を排除して、現在位置を正確に検出する位置検出装置が提案されている（例えば、特許文献1及び2参照。）。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2005-195493号公報

特許文献2：特開2011-163817号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、前記従来の位置検出装置では、通常は、GPS衛星からの

信号によって検出した現在位置をそのまま出力し、マルチパスを発生させる構造物の存在が地図情報によって判明した場合にのみ、検出した現在位置を補正し、補正後の現在位置を出力するようになっている。つまり、GPS衛星からの信号によって検出した現在位置である初期位置が概ね正しいと想定し、必要に応じて、マルチパスの影響を排除する補正を初期位置に対して行うようになっている。

[0007] そのため、例えば、比較的開けた場所に存在する1棟の高層ビルの脇（わき）を通過するような場合には、マルチパスの影響を排除した正確な現在位置を出力し得るとしても、例えば、大都会における高層ビルの谷間のような場所においては、GPS衛星が発信する電波が多数の高層ビルによって複雑な影響を受けるので、GPS衛星からの信号によって検出した現在位置である初期位置が概ね正しいとの想定がそもそも成立しないため、このような初期位置に対して補正を行っても、正しい現在位置を得ることができない。

[0008] 本発明は、前記従来の位置検出装置の問題点を解決して、構造物、地形等によって測位衛星からの衛星信号が複雑な影響を受ける環境下であっても、短時間で、かつ、低コストで安定的に正確な現在位置を決定して出力することができる位置検出装置、位置検出システム及び位置検出方法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

[0009] そのために、本発明の位置検出装置においては、測位衛星からの衛星信号を受信し、該衛星信号に基づき、前記測位衛星までの擬似距離を算出する受信ユニットと、該受信ユニットが算出した擬似距離に基づいて初期位置を算出し、3次元地図情報及びレイトラッキング（Ray-Tracing）法を用いて前記初期位置の周辺の複数位置における前記測位衛星までの擬似距離を算出し、該擬似距離に基づいて前記複数位置のうちから候補位置を選択し、前記初期位置との距離が所定条件を満たす程度に小さい候補位置に基づいて現在位置を決定する測位ユニットとを有する。

[0010] 本発明の他の位置検出装置においては、さらに、前記複数位置は、前記初

期位置の周囲に設定されたメッシュの格子点であり、前記測位ユニットは、前記メッシュを設定し、該メッシュの格子点を探索点に設定し、各探索点から各測位衛星までの擬似距離であって、3次元地図情報とレイトラシング法とによって推定したNLOS（Non-Line-of-Sight）反射パス遅延距離を含む探索点擬似距離を算出し、該探索点擬似距離に基づいて評価位置を算出し、該評価位置と前記初期位置との距離が閾（しきい）値以下である探索点を候補位置として選択する。

[0011] 本発明の更に他の位置検出装置においては、さらに、前記測位ユニットは、選択した候補位置の周囲にメッシュを設定し、前記探索点の設定、前記探索点擬似距離の算出、前記評価位置の算出、及び、前記候補位置の選択を繰り返す。

[0012] 本発明の更に他の位置検出装置においては、さらに、前記測位ユニットは、選択した候補位置の数が所定数未満である場合、前記初期位置との距離が最小の候補位置を現在位置に決定し、選択した候補位置の数が前記所定数以上である場合、前記初期位置との距離が閾値以下の候補位置を再度選択し、再度選択した候補位置に対して前記初期位置との距離の逆数で重みを付けた平均値を算出して現在位置を決定する。

[0013] 本発明の更に他の位置検出装置においては、さらに、前記複数位置は、前記初期位置の周囲にランダムに設定された位置であり、前記測位ユニットは、前記複数位置を探索点に設定し、各探索点から各測位衛星までの擬似距離であって、3次元地図情報とレイトラシング法とによって推定したNLOS反射パス遅延距離を含む探索点擬似距離を算出し、該探索点擬似距離に基づいて候補位置を選択し、該候補位置と前記初期位置との距離に基づく値を尤（ゆう）度とし、前記候補位置の尤度に応じた加重平均を現在位置と決定する。

[0014] 本発明の更に他の位置検出装置においては、さらに、前記測位ユニットは、各探索点から各測位衛星までの擬似距離であって、3次元地図情報とレイトラシング法とによって推定したNLOS反射パス遅延距離を含む探索点

擬似距離を算出し、該探索点擬似距離の集合と、前記受信ユニットが算出した擬似距離の集合との類似度が高い探索点を候補位置として選択する。

[0015] 本発明の更に他の位置検出装置においては、さらに、前記測位ユニットは、前記候補位置を選択する基準に、前記探索点擬似距離の集合と、前記受信ユニットが算出した擬似距離の集合との類似度を更に加える。

[0016] 本発明の更に他の位置検出装置においては、さらに、前記測位ユニットは、前記初期位置を算出する位置算出部と、前記複数位置を探索する周辺探索部と、前記候補位置を選択する候補位置選択部と、前記現在位置を決定する現在位置決定部とを備える。

[0017] 本発明の更に他の位置検出装置においては、さらに、前記測位衛星からの電波伝播が前記3次元地図情報に含まれる構造物のエッジを基準とした一定範囲を通過する場合、前記電波伝播がLOS (Line-of-Sight) 及びNLOSの2つの場合を仮定して、双方において前記測位衛星までの擬似距離を算出し、LOS又はNLOSのうちの尤（もっと）もらしい方を選択する。

[0018] 本発明の更に他の位置検出装置においては、さらに、前記測位衛星からの電波伝播が前記3次元地図情報に含まれる構造物のエッジを基準とした一定範囲を通過する場合、前記エッジの存在位置に誤差モデルを仮定し、前記電波伝播がLOSである確率及びNLOSである確率を定義する。

[0019] 本発明の更に他の位置検出装置においては、さらに、前記測位衛星からの電波伝播が、前記3次元地図情報に含まれる構造物に反射する反射パスであると仮定したときと比較して、直接パスであると仮定したときの方が前記初期位置を算出する際の最小2乗法の残差が小さい場合には、前記構造物が存在しないと判定する。

[0020] 本発明の更に他の位置検出装置においては、さらに、前記構造物が存在しないとの判定が複数の位置検出装置によって行われた場合、前記判定を3次元地図情報に反映させる。

[0021] 本発明の更に他の位置検出装置においては、さらに、前記測位衛星からの

受信電力の強度が弱い場合、前記受信ユニットが備えるコリレータが出力する相関波の波形に基づき、前記測位衛星からの電波伝播がLOSであるかNLOSであるかを判定する。

[0022] 本発明の更に他の位置検出装置においては、さらに、前記相関波の左右対称性が高いときは、前記測位衛星からの電波伝播がLOSであって逆相マルチパスであると判定する。

[0023] 本発明の更に他の位置検出装置においては、さらに、前記測位衛星からの受信電力の強度が強い場合、3次元地図情報及びレイトレーシング法を用いて前記測位衛星からの電波伝播がLOSであるかNLOSであるかを判定し、LOSであるときは、遅延を考慮して擬似距離を補正する。

[0024] 本発明の更に他の位置検出装置においては、さらに、遅延距離に応じたマルチパス誤差を算出し、該マルチパス誤差によって前記擬似距離を補正する。

[0025] 本発明の更に他の位置検出装置においては、さらに、前記3次元地図情報に含まれる構造物の壁面に対する垂線方向の位置エラーの可能性を考慮し、前記壁面の座標を前記垂線方向に変化させ、最小2乗法の残差が小さくなる位置を探索し、該位置が前記壁面の位置であると推定する。

[0026] 本発明の位置検出システムにおいては、測位衛星からの衛星信号を受信し、該衛星信号に基づき、前記測位衛星までの擬似距離を算出する受信ユニットを備える位置検出装置と、該位置検出装置と通信可能に接続されたサーバとを有する位置検出システムであって、前記サーバは、受信ユニットが算出した擬似距離に基づいて初期位置を算出し、3次元地図情報及びレイトレーシング法を用いて前記初期位置の周辺の複数位置における前記測位衛星までの擬似距離を算出し、該擬似距離に基づいて前記複数位置のうちから候補位置を選択し、前記初期位置との距離が所定条件を満たす程度に小さい候補位置に基づいて現在位置を決定する測位ユニットとを備え、決定した現在位置を前記位置検出装置に送信する。

[0027] 本発明の位置検出方法においては、測位衛星からの衛星信号を受信し、該

衛星信号に基づき、前記測位衛星までの擬似距離を算出し、該擬似距離に基づいて初期位置を算出し、３次元地図情報及びレイトレーシング法を用いて前記初期位置の周辺の複数位置における前記測位衛星までの擬似距離を算出し、該擬似距離に基づいて前記複数位置のうちから候補位置を選択し、前記初期位置との距離が所定条件を満たす程度に小さい候補位置に基づいて現在位置を決定する。

[0028] 本発明の更に他の位置検出装置においては、測位衛星からの衛星信号を受信し、該衛星信号に基づき、前記測位衛星までの擬似距離を算出する受信ユニットと、３次元地図情報及びレイトレーシング法を用い、前記測位衛星からの電波伝播がLOSであるかNLOSであるかを判定し、LOSである場合には直接パス及び反射パスの両方を含むマルチパスであるか否かを判定し、マルチパスであるときには前記受信ユニットが算出した擬似距離を前記反射パスの遅延を考慮して補正し、補正した擬似距離に基づいて現在位置を決定する測位ユニットとを有する。

[0029] 本発明の更に他の位置検出装置においては、さらに、前記測位ユニットは、前記反射パスの遅延距離に応じたマルチパス誤差を算出し、該マルチパス誤差によって前記擬似距離を補正する。

[0030] 本発明の更に他の位置検出装置においては、さらに、前記マルチパス誤差は、前記受信ユニットが備えるコリレータの特性に応じて設定されたモデルに基づいて算出される。

[0031] 本発明の更に他の位置検出装置においては、さらに、前記測位ユニットは、前記測位衛星からの電波伝播がLOSである場合には、前記受信ユニットが備えるコリレータが出力する相関波の波形に基づいてマルチパスであるか否かを判定する。

[0032] 本発明の更に他の位置検出装置においては、さらに、前記測位ユニットは、前記受信ユニットが算出した擬似距離に基づいて初期位置を算出し、３次元地図情報及びレイトレーシング法を用いて前記初期位置の周辺の複数位置における前記測位衛星までの擬似距離を算出し、該擬似距離に基づいて前記

複数位置のうちから候補位置を選択し、前記初期位置との距離が所定条件を満たす程度に小さい候補位置に基づいて現在位置を決定する。

[0033] 本発明の更に他の位置検出装置においては、さらに、前記複数位置は、前記初期位置の周囲に設定されたメッシュの格子点であり、前記測位ユニットは、前記メッシュを設定し、該メッシュの格子点を探索点に設定し、各探索点から各測位衛星までの擬似距離であって、3次元地図情報とレイトレーシング法とによって推定したNLOS反射パス遅延距離を含む探索点擬似距離を算出し、該探索点擬似距離に基づいて評価位置を算出し、該評価位置と前記初期位置との距離が閾値以下である探索点を候補位置として選択する。

[0034] 本発明の更に他の位置検出装置においては、さらに、前記測位ユニットは、選択した候補位置の周囲にメッシュを設定し、前記探索点の設定、前記探索点擬似距離の算出、前記評価位置の算出、及び、前記候補位置の選択を繰り返す。

[0035] 本発明の更に他の位置検出装置においては、さらに、前記測位ユニットは、選択した候補位置の数が所定数未満である場合、前記初期位置との距離が最小の候補位置を現在位置に決定し、選択した候補位置の数が前記所定数以上である場合、前記初期位置との距離が閾値以下の候補位置を再度選択し、再度選択した候補位置に対して前記初期位置との距離の逆数で重みを付けた平均値を算出して現在位置を決定する。

[0036] 本発明の更に他の位置検出装置においては、さらに、前記複数位置は、前記初期位置の周囲にランダムに設定された位置であり、前記測位ユニットは、前記複数位置を探索点に設定し、各探索点から各測位衛星までの擬似距離であって、3次元地図情報とレイトレーシング法とによって推定したNLOS反射パス遅延距離を含む探索点擬似距離を算出し、該探索点擬似距離に基づいて候補位置を選択し、該候補位置と前記初期位置との距離に基づく値を尤度とし、前記候補位置の尤度に応じた加重平均を現在位置と決定する。

[0037] 本発明の更に他の位置検出装置においては、さらに、前記測位ユニットは、各探索点から各測位衛星までの擬似距離であって、3次元地図情報とレイ

トレーシング法とによって推定したNLOS反射パス遅延距離を含む探索点擬似距離を算出し、該探索点擬似距離の集合と、前記受信ユニットが算出した擬似距離の集合との類似度が高い探索点を候補位置として選択する。

[0038] 本発明の更に他の位置検出装置においては、さらに、前記測位ユニットは、前記候補位置を選択する基準に、前記探索点擬似距離の集合と、前記受信ユニットが算出した擬似距離の集合との類似度を更に加える。

[0039] 本発明の更に他の位置検出装置においては、さらに、前記測位ユニットは、前記初期位置を算出する位置算出部と、前記複数位置を探索する周辺探索部と、前記候補位置を選択する候補位置選択部と、前記現在位置を決定する現在位置決定部とを備える。

[0040] 本発明の更に他の位置検出装置においては、さらに、前記3次元地図情報に含まれる構造物の壁面に対する垂線方向の位置エラーの可能性を考慮し、前記壁面の座標を前記垂線方向に変化させ、最小2乗法の残差が小さくなる位置を探索し、該位置が前記壁面の位置であると推定する。

[0041] 本発明の更に他の位置検出装置においては、さらに、前記測位衛星からの電波伝播が前記3次元地図情報に含まれる構造物のエッジを基準とした一定範囲を通過する場合、前記電波伝播がLOS及びNLOSの2つの場合を仮定して、双方において前記測位衛星までの擬似距離を算出し、LOS又はNLOSのうちの尤もらしい方を選択する。

[0042] 本発明の更に他の位置検出装置においては、さらに、前記測位衛星からの電波伝播が前記3次元地図情報に含まれる構造物のエッジを基準とした一定範囲を通過する場合、前記エッジの存在位置に誤差モデルを仮定し、前記電波伝播がLOSである確率及びNLOSである確率を定義する。

[0043] 本発明の更に他の位置検出装置においては、さらに、前記測位衛星からの電波伝播が、前記3次元地図情報に含まれる構造物に反射する反射パスであると仮定したときと比較して、直接パスであると仮定したときの方が前記初期位置を算出する際の最小2乗法の残差が小さい場合には、前記構造物が存在しないと判定する。

[0044] 本発明の更に他の位置検出装置においては、さらに、前記構造物が存在しないとの判定が複数の位置検出装置によって行われた場合、前記判定を３次元地図情報に反映させる。

[0045] 本発明の他の位置検出システムにおいては、測位衛星からの衛星信号を受信し、該衛星信号に基づき、前記測位衛星までの擬似距離を算出する受信ユニットを備える位置検出装置と、該位置検出装置と通信可能に接続されたサーバとを有する位置検出システムであって、前記サーバは、３次元地図情報及びレイトラシング法を用い、前記測位衛星からの電波伝播がLOSであるかNLOSであるかを判定し、LOSである場合には直接パス及び反射パスの両方を含むマルチパスであるか否かを判定し、マルチパスであるときには前記受信ユニットが算出した擬似距離を遅延を考慮して補正し、補正した擬似距離に基づいて現在位置を決定する測位ユニットを備え、決定した現在位置を前記位置検出装置に送信する。

[0046] 本発明の他の位置検出方法においては、測位衛星からの衛星信号を受信し、該衛星信号に基づき、前記測位衛星までの擬似距離を算出し、３次元地図情報及びレイトラシング法を用い、前記測位衛星からの電波伝播がLOSであるかNLOSであるかを判定し、LOSである場合には直接パス及び反射パスの両方を含むマルチパスであるか否かを判定し、マルチパスであるときには前記受信ユニットが算出した擬似距離を遅延を考慮して補正し、補正した擬似距離に基づいて現在位置を決定する。

発明の効果

[0047] 本発明によれば、構造物、地形等によって測位衛星からの衛星信号が複雑な影響を受ける環境下であっても、短時間で、かつ、低コストで安定的に正確な現在位置を決定して出力することができる。

図面の簡単な説明

[0048] [図1]本発明の第１の実施の形態における位置検出システムの構成を示す図である。

[図2]本発明の第１の実施の形態における３次元地図を示す図である。

[図3]本発明の第1の実施の形態におけるマルチパスを計算するレイトレーシングシミュレーションの例を示す図である。

[図4]本発明の第1の実施の形態におけるマルチパスを検出する方法を説明する図であって、(a)はLOSパスを示す図、(b)はNLOS反射パスを示す図である。

[図5]本発明の第1の実施の形態における第1の方法によって検出された現在位置の軌跡を示す図である。

[図6]本発明の第1の実施の形態における第2の方法による1段目のメッシュの格子点を示す図である。

[図7]本発明の第1の実施の形態における第2の方法による2段目のメッシュの格子点を示す図である。

[図8]本発明の第1の実施の形態における第2の方法によって検出された現在位置の軌跡を示す図である。

[図9]本発明の第2の実施の形態における第2の方法による探索点を示す図である。

[図10]本発明の第2の実施の形態における第2の方法によってパーティクルフィルタを適用した際のパーティクルの分布の例を示す図である。

[図11]本発明の第3の実施の形態におけるNLOSパス及びLOSパスと構造物のエッジとの関係を説明する図である。

[図12]本発明の第4の実施の形態におけるNLOSである確率の例を示す図である。

[図13]本発明の第5の実施の形態における位置検出システムの構成を示す図である。

[図14]本発明の第7の実施の形態における第2の方法による探索点を示す図である。

[図15]本発明の第8の実施の形態におけるコリレータが出力する相関波の例を示す図である。

[図16]本発明の第8の実施の形態における逆相マルチパスである可能性を考

慮して検出された現在位置の軌跡を示す図である。

[図17-1]本発明の第9の実施の形態における反射波とコリレータが出力する相関波との関係を示す図である。

[図17-2]本発明の第9の実施の形態における遅延距離とマルチパス誤差との関係を示す図である。

[図18]本発明の第9の実施の形態におけるマルチパス誤差を補正して検出された現在位置を示す図である。

[図19]本発明の第9の実施の形態における真の現在位置におけるレイトレーシングの第1の例を示す図である。

[図20]本発明の第9の実施の形態における候補位置の第1の例を示す図である。

[図21]本発明の第9の実施の形態における真の現在位置におけるレイトレーシングの第2の例を示す図である。

[図22]本発明の第9の実施の形態における候補位置の第2の例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0049] 以下、本発明の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。

[0050] 図1は本発明の第1の実施の形態における位置検出システムの構成を示す図、図2は本発明の第1の実施の形態における3次元地図を示す図である。なお、図2において、(a)は2次元地図、(b)は(a)に対応する3次元地図である。

[0051] 図において、11は本実施の形態における位置検出システムの位置検出装置であり、位置検出システムのサーバとしての情報提供サーバ31と通信可能に接続されている。該情報提供サーバ31は、例えば、地図情報、道路情報、天気情報等の各種情報を配信する図示されない情報センタに配設されたサーバであって、CPU、MPU等の演算装置、半導体メモリ、磁気ディスク、光ディスク等の記憶装置、通信インターフェイス等を備えるコンピュータである。

- [0052] そして、前記位置検出装置 11 は、人物が携帯したり、自動車等の車両に装着したりして搬送することが可能な可搬装置であって、後述される測位衛星 41 からの信号を受信し、現在位置を検出して表示装置の表示画面等に出力することができる装置であれば、いかなる種類の装置であってもよく、例えば、携帯電話機やスマートフォンであるが、携帯情報端末、PDA (Personal Digital Assistant: 個人用携帯情報端末)、小型パーソナルコンピュータ、ウェアラブルコンピュータ、携帯ゲーム機、車両用ナビゲーション装置等いかなるものであってもよい。なお、前記位置検出装置 11 は、一種のコンピュータであって、CPU、MPU等の演算装置、半導体メモリ等の記憶装置、液晶ディスプレイ、LED (Light Emitting Diode) ディスプレイ、CRT (Cathode Ray Tube) 等の表示装置、キーボード、ジョイスティック、十字キー、押しボタン、タッチパネル等の入力装置、前記表示装置を制御する表示制御装置、及び、通信インターフェイス等の送受信装置を備える。
- [0053] また、前記位置検出装置 11 は、機能の観点から、図に示されるように、受信ユニット 12、測位ユニット 21 及び通信部 17 を備える。
- [0054] 前記受信ユニット 12 は、例えば、市販されているGPS受信器と同様のものであり、測位衛星 41 から送信された衛星信号を受信する受信部 13 と、該受信部 13 が受信したすべての測位衛星 41 からの衛星信号に基づき、測位衛星 41 の位置と位置検出装置 11 の位置との間の擬似距離を算出して出力する擬似距離算出部 14 と、測位衛星 41 から送信された衛星信号を受信するためのアンテナ 15 とを含んでいる。なお、前記測位衛星 41 は、具体的には、地球を周回するGPS衛星であるが、中国のCOMPASSシステム、欧州のGALILEOシステム、日本のQuasi-Zenith衛星システム等の測位衛星 41 を含んでいてもよい。また、前記受信ユニット 12 は、受信部 13 が受信した測位衛星 41 の位置等の情報及び擬似距離算出部 14 が算出した擬似距離等の情報を所定の時間間隔（例えば、1 秒毎）で出力する。

[0055] 前記測位ユニット 21 は、位置検出装置 11 の位置を算出する位置算出部 22 と、該位置算出部 22 の算出した位置の周辺に存在する複数の位置を探索する周辺探索部 23 と、位置検出装置 11 の位置から測位衛星 41 までの電波伝播に生じ得るマルチパスに含まれる NLOS 反射パスの遅延距離を推定するマルチパス推定部としての NLOS 反射パス推定部 24 と、前記周辺探索部 23 が探索した位置に基づいて候補位置を選択する候補位置選択部 25 と、該候補位置選択部 25 が選択した候補位置に基づいて位置検出装置 11 の現在位置を決定して出力する現在位置決定部としての出力決定部 26 と、3次元地図情報を含む地図情報を記憶して格納する地図データベース 27 とを含んでいる。

[0056] 具体的には、前記位置算出部 22 は、受信ユニット 12 が出力した測位衛星 41 の位置と擬似距離とを用いて位置検出装置 11 の位置を算出する。なお、前記位置算出部 22 は、初期位置算出部としても機能し、当初に算出した位置検出装置 11 の位置を初期位置として出力する。そして、前記 NLOS 反射パス推定部 24 は、3次元地図情報及びレイトラッキング法を用いて NLOS 反射パス遅延距離を推定する。また、前記候補位置選択部 25 は、前記周辺探索部 23 が探索した位置における擬似距離を算出し、該擬似距離に基づいて選択した位置を候補位置とする。なお、前記候補位置選択部 25 は、位置算出部 22 が算出した位置検出装置 11 の位置との距離が所定値以内の位置を、候補位置として選択することもできる。さらに、前記出力決定部 26 は、位置算出部 22 が算出した位置検出装置 11 の位置との距離が所定値以内の候補位置に基づいて位置検出装置 11 の現在位置を決定して出力する。

[0057] なお、3次元地図情報は、例えば、高層ビル等の構造物の高さを含むものであることが望ましい。このような3次元地図情報は、市販されているものであってもよいし、いかなる種類のものであってもよいが、本実施の形態においては、本発明の発明者が作成した3次元地図情報を使用した場合について説明する。具体的には、2次元地図情報から構造物や道路の形状を含む2

次元座標の情報を取得し、該情報と高度の情報とを組み合わせることによって、前記３次元地図情報を作成した。なお、前記２次元地図情報としてはオープンストリートマップ（Open Street Map：OSM）を使用し、数値表層モデル（Digital Surface Model）としては朝日航洋株式会社のgood-3D（R）を使用した。また、数値標高モデル（Digital Elevation Model）は、水平方向１〔m〕のメッシュ毎の情報であり、その正確度は水平方向５０〔cm〕及び鉛直方向１５〔cm〕である。

[0058] 図２（a）は、東京都内のある場所（具体的には、東京都千代田区内における神田錦町三丁目と一ツ橋二丁目との境界を走る白山通りにおける一ツ橋交差点近傍）の２次元地図を示し、図２（b）は、本発明の発明者が作成した図２（a）の２次元地図に対応する３次元地図である。該３次元地図には、構造物の３次元情報が含まれている。

[0059] 前記通信部１７は、例えば、市販されている通信モジュールと同様のものであり、有線又は無線の公衆通信回線網、専用通信回線網、携帯電話回線網、インターネット等の通信回線網を通して、情報提供サーバ３１と通信を行う。そして、位置検出装置１１は、前記通信部１７を介して情報提供サーバ３１と通信を行うことによって、例えば、位置検出装置１１の位置を含む地域乃至所望の地域の２次元地図情報、３次元地図情報等の地図情報や、道路情報、天気情報等の各種情報を取得することができる。したがって、前記地図データベース２７には、多量の地図情報を格納しておく必要はなく、必要な地域の地図情報のみを随時情報提供サーバ３１から取得して格納しておけばよい。なお、情報提供サーバ３１との通信速度が十分に速い場合には、地図データベース２７を省略することもできる。また、測位ユニット２１が出力した位置検出装置１１の現在位置を情報提供サーバ３１に送信することもできる。もっとも、必要がなければ、情報提供サーバ３１を省略することもできる。

[0060] 次に、前記構成の位置検出装置１１の動作について説明する。まず、３次

元地図情報を使用したレイトレーシング法について説明する。

[0061] 図3は本発明の第1の実施の形態におけるマルチパスを計算するレイトレーシングシミュレーションの例を示す図、図4は本発明の第1の実施の形態におけるマルチパスを検出する方法を説明する図である。なお、図4において、(a)はLOSパスを示す図、(b)はNLOS反射パスを示す図である。

[0062] レイトレーシング法は、元来、コンピュータグラフィックの分野において、光の経路をトレースすることによって物体の像を作り出すために用いられた技法であるが、現在では、電波伝播をシミュレートするためにも用いられる。そして、レイトレーシング法を用いて、位置検出装置11の位置から測位衛星41までの間に構造物が存在するか否かを確認する技術は、既に提案されている（例えば、非特許文献1参照。）。

非特許文献1：M. Obst, S. Bauer, P. Reisdorf, G. Wanielik, “Multipath detection with 3D digital maps for robust multi-constellation GNSS/INS vehicle localization in urban areas, ” in Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2012 IEEE, pp. 184-190 (2012)。

[0063] 本実施の形態において、測位衛星41からの電波伝播のシミュレーションは、レイトレーシング法と図3に示されるような3次元地図とを用いて行われる。図3は、図2に示される地域内の一部の3次元地図である。また、図4は、測位衛星41からの電波伝播が建物42の表面43に反射される状態の模式図であり、測位衛星41からの電波伝播のマルチパスがどのように検出されるかを示している。

[0064] 図において、44は、建物42の表面43を含む平面であり、41'は、平面44に対する測位衛星41の鏡像であり、線45は、位置検出装置11の現在位置からの視野内にある測位衛星41、すなわち、LOS (Line of Sight) である測位衛星41からの電波伝播であるLOSパス（直接パス）を示し、線46は、建物42の表面43で反射したLOSである測位衛星41からの電波伝播である反射パスを示し、線47は、位置検出

装置 1 1 の現在位置からの視野内にない測位衛星 4 1、すなわち、NLOS である測位衛星 4 1 からの電波伝播である NLOS 反射パスを示している。なお、NLOS である測位衛星 4 1 からの電波伝播に直接パスはあり得ない。

[0065] 本実施の形態において用いたレイトレーシング法は、イメージング法と称される方法である。また、建物 4 2 の表面 4 3 は鏡面であるものと仮定し、反射パスは反射の法則に従うものと仮定した。そして、測位衛星 4 1 からの電波伝播のマルチパスを見出すためには、まず、建物 4 2 の表面 4 3 に対する測位衛星 4 1 の鏡像 4 1' の位置が算出され、続いて、鏡像 4 1' とアンテナ 1 5 とを結ぶ線分が建物 4 2 の表面 4 3 と交差するか否かが判断される。そして、交差する場合には、測位衛星 4 1 及びアンテナ 1 5 の位置と建物 4 2 の表面 4 3 上の反射点との間に障害物が存在するか否かが検討される。さらに、障害物が存在しない場合には、測位衛星 4 1 からの電波伝播は、反射パスであると判断される。図 4 (b) に示されるように、測位衛星 4 1 とアンテナ 1 5 の位置との間に建物 4 2 等の障害物が存在する場合には、測位衛星 4 1 からの電波伝播は NLOS 反射パスであると判断される。

[0066] 次に、測位衛星 4 1 の位置と擬似距離とを用いて位置検出装置 1 1 の位置を検出する原理について説明する。なお、測位衛星 4 1 は GPS 衛星であるものとして説明する。

[0067] 受信ユニット 1 2 によって観測されている測位衛星 4 1 の位置とアンテナ 1 5 乃至受信ユニット 1 2 の位置との間の擬似距離列を $\mathbf{R}$ とすると、次の式 (1) のような連立方程式が成立する。

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{(x_1^{sv} - x^r)^2 + (y_1^{sv} - y^r)^2 + (z_1^{sv} - z^r)^2} + c\delta t^r \\ \sqrt{(x_2^{sv} - x^r)^2 + (y_2^{sv} - y^r)^2 + (z_2^{sv} - z^r)^2} + c\delta t^r \\ \vdots \\ \sqrt{(x_N^{sv} - x^r)^2 + (y_N^{sv} - y^r)^2 + (z_N^{sv} - z^r)^2} + c\delta t^r \end{bmatrix} \quad \dots \text{式 (1)}$$

[0068]

$N \geq 4$ ならば、すなわち、観測されている測位衛星 4 1 の数が 4 以上であれば、式 (1) を解くことができ、アンテナ 1 5 乃至受信ユニット 1 2 の位置 $\mathbf{x}'$ を得ることができる。具体的には、加重最小 2 乗法 (重み付き最小 2 乗法) を用いて式 (1) の解を求める。本実施の形態において、位置算出部 2 2 は、このように、加重最小 2 乗法を用いて式 (1) の解を求めることによって、初期位置 $\mathbf{x}_0$ を算出する。

なお、 $\mathbf{x}' = [x', y', z']^T$ は、アンテナ 1 5 乃至受信ユニット 1 2 の位置、 δt^r は、受信ユニット 1 2 が備える図示されない時計の GPS 時系からの遅れ、 $\mathbf{x}_i^{sv} = [x_i^{sv}, y_i^{sv}, z_i^{sv}]^T$ ($i = 1, 2, \dots, N$) は、測位衛星 4 1 の座標を表している。GPS 衛星である測位衛星 4 1 の座標は、測位衛星 4 1 からの放送暦によってあらかじめ計算されているものとする。

[0069] 次に、マルチパスの影響を考慮して現在位置を検出する第 1 の方法について説明する。

[0070] 図 5 は本発明の第 1 の実施の形態における第 1 の方法によって検出された現在位置の軌跡を示す図である。

[0071] 擬似距離の生データは、信号の伝播時間に光の速度を乗じることによって得られるが、信号の伝播時間には各種のエラーが含まれているので、擬似距離は修正される必要がある。n 番目の測位衛星 4 1 について算出された擬似距離 R_n は、次の式 (2) で表される。

$$R_n = \rho_n + c (\delta t^r - \delta T_n) + I_n + T_n + \varepsilon_n \quad \dots \text{式 (2)}$$

ここで、 ρ_n は、n 番目の測位衛星 4 1 までの幾何学的距離、 δT_n は、衛星時計の GPS 時系からの遅れ、 I は、電離層による遅延距離、 T は、対流圏による遅延距離、 ε は、マルチパス、受信ユニット 1 2 のノイズ及びアンテナ 1 5 の遅れに起因するエラーである。

[0072] なお、衛星時計の GPS 時系からの遅れは、放送暦によって計算された値を用いて修正される。また、電離層による遅延距離は、Klobuchar モデルによって修正され、対流圏による遅延距離は、Saastamoinen モデルによって修正される。残りのエラーは、マルチパスのエラー及び受信ユニット 1 2 のノイズのエラーである。

[0073] ここで、ノイズが無視し得る程度に小さいとすると、マルチパスのエラーのみを除去すればよいことが分かる。そして、マルチパスのエラーは、レイトレーシング法と図3に示されるような3次元地図とを用いた電波伝播のシミュレーションに基づく推定によって除去することができる。

[0074] そして、本発明の発明者は、このような第1の方法によって位置を検出する実験を図2に示される場所で行った。実験に使用した受信器は、表1に示されるようなデータを出力するGPS受信器である。

[0075]

Device name		u-blox NEO-6P GPS module
Antenna used		u-blox ANN-MS active GPS antenna with 5-m cable
Output data	NMEA 0183 format	Time, Status, Position, Velocity, DOP, etc.
	Navigation Results	Position, Velocity, Time, DOP, SVs used, etc.
	Receiver Manager Messages	Almanach, Ephemeris, Satellite Status, etc.
	Raw Measurement Data	GPS time, GPS week number, Pseudorange, Doppler, Signal strength C/No, etc.

[0076] また、図5には、地図上にプロットされた実験の結果が示されている。なお、図5に示される地図は、図2の幅方向中央付近を少し傾斜して上下方向に走る通りの近傍を拡大した3次元地図である。図5において、白抜きの太い直線51は、道路上を発明者が前記GPS受信器を所持して移動した実際の経路である。また、複数の丸印52は、前記GPS受信器の出力に基づき、第1の方法によって検出した位置の軌跡を示している。さらに、複数の三角印53は、前記GPS受信器が出力した位置の軌跡を示している。

[0077] なお、前記GPS受信器の出力は、軌跡をスムーズにするために、何らかのフィルタを適用している、と推定される。そのため、本実験においては、第1の方法によって検出した位置に対しても、パーティクルフィルタを適用した。

[0078] 図5から明らかなように、丸印52で示される軌跡は、三角印53で示される軌跡と比較して、完全に一致してはいないものの、誤差の大きさ、傾向等において、同様の性質を示している。

[0079] 次に、マルチパスの影響を考慮して現在位置を検出する第2の方法について説明する。

[0080] 図6は本発明の第1の実施の形態における第2の方法による1段目のメッシュの格子点を示す図、図7は本発明の第1の実施の形態における第2の方法による2段目のメッシュの格子点を示す図、図8は本発明の第1の実施の形態における第2の方法によって検出された現在位置の軌跡を示す図である。

[0081] 第2の方法は、前記式(1)の解を求めて検出した位置を初期位置とし、該初期位置の周辺の複数位置における擬似距離を算出し、該擬似距離に基づいて検出した位置を候補位置とし、前記初期位置との距離が所定値以内の候補位置に基づいて現在位置を検出する方法である。そして、本実施の形態における位置検出装置11は、第2の方法によって現在位置を検出する。

まず、位置算出部22は、受信ユニット12が所定の時間毎に出力する測位衛星41の位置と擬似距離とを用いて位置検出装置11の位置を算出して設定する。具体的には、位置算出部22は、受信ユニット12が所定の時間間隔で出力する擬似距離列 R を使用し、測位衛星41の座標、すなわち、衛星位置 $\mathbf{x}_i^v$ とを受信する毎に、加重最小2乗法を用いて前記式(1)の解を求めることによって、アンテナ15乃至受信ユニット12の位置 $\mathbf{x}'$ を算出し、これを初期位置 $\mathbf{x}_0$ とする。

続いて、周辺探索部23は、位置算出部22が設定した位置の周辺に存在する複数の位置を探索する。これは、位置検出装置11の真の位置は、初期位置 $\mathbf{x}_0$ からあまり離れていない範囲、すなわち、ある程度の近傍に存在すると考えられるからである。具体的には、周辺探索部23は、初期位置 $\mathbf{x}_0$ の周囲の第1の領域、例えば、 $100\text{ [m]} \times 100\text{ [m]}$ の領域、に1段目の格子、すなわち、メッシュ、例えば、 10×10 個の 10 [m] のメッシュを設定し、各格子点を第1探索点 $\mathbf{P}^{(1)}(i, j)$ とする。図6には、地図上に第1探索点 $\mathbf{P}^{(1)}(i, j)$ をプロットした例が示されている。なお、図6に示される地図は、図5の中央付近に存在する交差点の周辺を拡大した3次元地図である。

[0082]

そして、候補位置選択部 25 は、すべての第 1 探索点 $P^{(i)}(i, j)$ ($0 \leq i, j \leq 10$) について、次の式 (3) に従って、探索点擬似距離としての第 1 擬似距離列 $\hat{R}(i, j)$ を算出する。

$$\hat{R}(i, j) = \begin{bmatrix} \hat{R}_1(i, j) \\ \hat{R}_2(i, j) \\ \vdots \\ \hat{R}_N(i, j) \end{bmatrix} = \rho(i, j) + c(\delta t^r - \delta T) + I + T + \epsilon^{\text{multipath}}(i, j) \quad \dots \text{式 (3)}$$

なお、 $\rho(i, j)$ は、第 1 探索点 $P^{(i)}(i, j)$ から測位衛星 41 までの幾何学的距離、 $\epsilon^{\text{multipath}}(i, j)$ は、第 1 探索点 $P^{(i)}(i, j)$ から各測位衛星 41 までの電波伝播に生じ得る NLOS 反射パス遅延距離を含むマルチパス遅延距離である。NLOS 反射パス推定部 24 は、前記マルチパス遅延距離 $\epsilon^{\text{multipath}}(i, j)$ を、レイトレーシング法と 3 次元地図情報とによって推定する。

[0083] 続いて、位置算出部 22 は、第 1 擬似距離列 $\hat{R}(i, j)$ と衛星位置 x_i^{sv} とを用いて、加重最小 2 乗法を用いて前記式 (1) の解を求めることによって、位置 $\hat{x}(i, j)$ を算出し、第 1 評価位置とする。なお、第 1 擬似距離列 $\hat{R}(i, j)$ は、潜在的に NLOS 反射パス遅延距離を含むマルチパスのエラーを含んでいるので、算出された第 1 評価位置 $\hat{x}(i, j)$ は第 1 探索点 $P^{(i)}(i, j)$ からかなり離れている可能性もある。そこで、初期位置 x_0 と第 1 評価位置 $\hat{x}(i, j)$ との空間距離が十分に短ければ、第 1 探索点 $P^{(i)}(i, j)$ は真の現在位置にあるものと仮定する。そして、候補位置選択部 25 は、初期位置 x_0 と第 1 評価位置 $\hat{x}(i, j)$ との空間距離である第 1 空間距離 $\|x_0 - \hat{x}(i, j)\|$ が第 1 閾値（例えば、約 30～50 [m]）以下である第 1 探索点 $P^{(i)}(i, j)$ を第 1 候補位置として選択する。

[0084]

続いて、周辺探索部 2 3 は、第 1 候補位置として選択された第 1 探索点 $P^{(1)}(i, j)$ の周辺に存在する複数の位置を探索する。具体的には、周辺探索部 2 3 は、第 1 候補位置として選択された第 1 探索点 $P^{(1)}(i, j)$ の周囲の第 2 の領域、例えば、10 [m] × 10 [m] の領域、に 2 段目のメッシュ、例えば、10 × 10 個の 1 [m] のメッシュを設定し、各格子点を第 2 探索点 $P^{(2)}(i, j, k, l)$ とする。図 7 には、地図上に第 2 探索点 $P^{(2)}(i, j, k, l)$ をプロットした例が示されている。なお、図 7 に示される地図は、図 6 の中央付近を拡大した 3 次元地図である。

そして、候補位置選択部 2 5 は、すべての第 2 探索点 $P^{(2)}(i, j, k, l)$ ($0 \leq i, j, k, l \leq 10$) について、前記式 (3) に従って、探索点擬似距離としての第 2 擬似距離列 $\hat{R}(i, j, k, l)$ を算出する。ここでは、受信電力の強度から推定される測位衛星 4 1 の可視状況との整合性に基づき、次の条件 (1) ~ (4) を満たす場合のみ、第 2 擬似距離列 $\hat{R}(i, j, k, l)$ を算出することとする。

[0085] (1) 測位衛星 4 1 からの受信電力が十分に大きい場合、建物 4 2 の内部に位置する第 2 探索点 $P^{(2)}(i, j, k, l)$ については、第 2 擬似距離列 $\hat{R}(i, j, k, l)$ を算出しない。

(2) 測位衛星 4 1 が NLOS であると認識されたが、反射の回数が 1 回のみである反射パスが見つからない場合、つまり、NLOS 反射パスが複数回の反射又は回折を含む場合、当該測位衛星 4 1 までの第 2 擬似距離列 $\hat{R}(i, j, k, l)$ を算出しない。

[0086] (3) 受信電力が所定の閾値以上の測位衛星 4 1 が NLOS であると認識された場合、当該第 2 探索点 $P^{(2)}(i, j, k, l)$ については、第 2 擬似距離列 $\hat{R}(i, j, k, l)$ を算出しない。なお、前記所定の閾値は、過去の受信電力の平均値に基づいて決定される。

(4) 受信電力が前記所定の閾値以下の測位衛星 4 1 が LOS であると認識された場合、当該第 2 探索点 $P^{(2)}(i, j, k, l)$ については、第 2 擬似距離列 $\hat{R}(i, j, k, l)$ を算出しない。

続いて、位置算出部 2 2 は、第 2 擬似距離列 $\hat{R}(i, j, k, l)$ と衛星位置 $\mathbf{x}_i^s$ とを用いて、加重最小 2 乗法を用いて前記式 (1) の解を求めることによって、位置 $\hat{\mathbf{x}}(i, j, k, l)$ を算出し、第 2 評価位置とする。

そして、出力決定部 2 6 は、次の (5) 又は (6) によって、出力位置 $\mathbf{x}'$ を決定し、位置検出装置 1 1 の現在位置とする。

[0087]

(5) 候補位置選択部 25 は、初期位置 $\mathbf{x}_0$ と第 2 評価位置 $\hat{\mathbf{x}}(i,j,k,l)$ との空間距離である第 2 空間距離 $d = \|\mathbf{x}_0 - \hat{\mathbf{x}}(i,j,k,l)\|$ が最小値となる第 2 探索点 $\mathbf{p}^{(2)}(i,j,k,l)$ を第 2 候補位置として

選択する。そして、出力決定部 26 は、第 2 候補位置を出力位置 $\mathbf{x}^*$ として決定する。つまり、次の式 (4) のようにして、出力位置 $\mathbf{x}^*$ を決定する。

$$\exists(i,j,k,l)st.\min_{i,j,k,l} d \Rightarrow \mathbf{x}^* = \mathbf{p}^{(2)}(i,j,k,l) \quad \dots \text{式 (4)}$$

[0088]

(6) 候補位置選択部 25 は、初期位置 $\mathbf{x}_0$ と第 2 評価位置 $\hat{\mathbf{x}}(i,j,k,l)$ との空間距離である第 2 空間距離 $d = \|\mathbf{x}_0 - \hat{\mathbf{x}}(i,j,k,l)\|$ が第 2 閾値 (例えば、約 30 ~ 50 [m]) 以下である第 2

探索点 $\mathbf{p}^{(2)}(i,j,k,l)$ を第 2 候補位置として選択する。そして、出力決定部 26 は、第 2 候補位置として選択されたすべての第 2 探索点 $\mathbf{p}^{(2)}(i,j,k,l)$ に対して、第 2 空間距離 d の逆数で重みを付けた平均値を算出し、出力位置 $\mathbf{x}^*$ として決定する。つまり、次の式 (5) のようにして、出力位置 $\mathbf{x}^*$ を決定する。

$$\mathbf{x}^* = \left[\frac{\sum_{d < \text{Threshold}} \mathbf{p}^{(2)}(i,j,k,l)}{\sum_{d < \text{Threshold}} \frac{1}{d}} \right] \quad \dots \text{式 (5)}$$

[0089]

なお、前記第 2 評価位置 $\hat{\mathbf{x}}(i,j,k,l)$ の数が少なく所定数 (例えば、10) 未満の場合には、前記 (5) によって出力位置 $\mathbf{x}^*$ を決定することが望ましく、前記第 2 評価位置 $\hat{\mathbf{x}}(i,j,k,l)$ の数が多く前記所定数以上の場合には、前記 (6) によって出力位置 $\mathbf{x}^*$ を決定することが望ましい。

続いて、出力決定部 26 は、出力位置 $\mathbf{x}^*$ の軌跡がスムーズなものとなるように、決定した出力位置 $\mathbf{x}^*$ に対してパーテイクルフィルタを適用し、得られた結果を出力する。なお、パーテイクルフィルタにおけるモデルは、次のようにした。

[0090]

観測値ベクトルとしては、緯度経度の値を $\mathbf{x}^r = [\varphi, \lambda]^T$ と表して状態ベクトルとし、さらに、これに速度を考慮して、 $\mathbf{y}^r = [\varphi, \lambda, v\varphi, v\lambda]^T$ と仮定した。この遷移モデルを次の式 (6) とし、遷移行列を次の式 (7) とした。また、各パーティクルに対する尤度関数を次の式 (8) とした。

$$\mathbf{y}_t^r = F \mathbf{y}_{t-1}^r + \mathbf{v}_t \quad \dots \text{式 (6)}$$

$$F = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta t & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta t \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \dots \text{式 (7)}$$

$$\pi_t^{(i)} = L(\mathbf{x}_t | \mathbf{y}_t = \mathbf{s}_{t|t-1}^{(i)}) = \frac{[(\varphi_{x_t} - \varphi_{s_t^{(i)}})^2 - (\lambda_{x_t} - \lambda_{s_t^{(i)}})^2]^{-1/2}}{\sum_{i=1}^{N_p} [(\varphi_{x_t} - \varphi_{s_t^{(i)}})^2 - (\lambda_{x_t} - \lambda_{s_t^{(i)}})^2]^{-1/2}} \quad \dots \text{式 (8)}$$

[0091] 図8には、出力決定部26が出力した出力位置、すなわち、位置検出装置11の現在位置を地図上にプロットした結果が示されている。なお、図8に示される地図は、図5とほぼ同一の範囲を示す3次元地図である。図8において、白抜きの太い直線51は、道路上を発明者が位置検出装置11を所持して移動した実際の経路である。また、複数の四角印54は、出力決定部26が出力した位置検出装置11の現在位置の軌跡である。なお、複数の丸印52は、第1の方法によって検出した位置の軌跡であって、参考のために示されている。また、前記四角印54及び丸印52は、パーティクルフィルタを適用して得られたものである。

[0092] 図8から明らかなように、四角印54で示される軌跡は、丸印52で示される軌跡と比較して、実際の経路にかなり接近していることが分かる。

[0093] なお、本実施の形態においては、初期位置の周囲に設定した1段目のメッシュの格子点を第1探索点とし、該第1探索点に基づいて算出した第1評価位置と初期位置との空間距離が第1閾値以下となる第1探索点を第1候補位置として求め、該第1候補位置の周囲に設定した2段目のメッシュの格子点を第2探索点とし、該第2探索点に基づいて算出した第2評価位置と初期位置との空間距離が第2閾値以下となる第2探索点を第2候補位置として求め

、該第2候補位置に基づいて出力位置を決定する例について説明したが、第2候補位置を求めることなく、第1候補位置に基づいて出力位置を決定することもできる。換言すると、メッシュを設定し、該メッシュの格子点を探索点とし、該探索点のうちから選択した候補位置を求める工程は、必ずしも、2回繰り返して行われる必要はなく、1回のみであってもよいし、また、必要があれば、3回以上繰り返して行われてもよい。つまり、メッシュを設定し、該メッシュの格子点を探索点とし、該探索点のうちから選択した候補位置を求める工程は、1回であってもよいし、複数回繰り返して行われてもよい。

[0094] また、パーティクルフィルタの適用は、適宜省略することもできる。さらに、パーティクルフィルタ以外のフィルタ（例えば、カルマンフィルタ等）を適用することもできる。

[0095] このように、本実施の形態において、位置検出装置11は、測位衛星41からの衛星信号を受信し、受信した衛星信号に基づき、測位衛星41までの擬似距離を算出する受信ユニット12と、受信ユニット12が算出した擬似距離に基づいて初期位置を算出し、3次元地図情報及びレイトレーシング法を用いて初期位置の周辺の複数位置における測位衛星41までの擬似距離を算出し、算出した擬似距離に基づいて複数位置のうちから候補位置を選択し、初期位置との距離が所定条件を満たす程度に小さい候補位置に基づいて現在位置を決定する測位ユニット21とを有する。

[0096] また、位置検出方法においては、測位衛星41からの衛星信号を受信し、受信した衛星信号に基づき、測位衛星41までの擬似距離を算出し、算出した擬似距離に基づいて初期位置を算出し、3次元地図情報及びレイトレーシング法を用いて初期位置の周辺の複数位置における測位衛星41までの擬似距離を算出し、算出した擬似距離に基づいて複数位置のうちから候補位置を選択し、初期位置との距離が所定条件を満たす程度に小さい候補位置に基づいて現在位置を決定する。

[0097] これにより、構造物、地形等によって測位衛星41からの衛星信号が複雑

な影響を受ける環境下であっても、NLOS反射パスを含むマルチパスの影響を適切に排除して、短時間で、かつ、低コストで安定的に正確な現在位置を決定して出力することができる。

[0098] さらに、複数位置は、初期位置の周囲に設定されたメッシュの格子点であり、測位ユニット21は、メッシュを設定し、設定したメッシュの格子点を探索点に設定し、各探索点から各測位衛星41までの擬似距離であって、3次元地図情報とレイトレーシング法とによって推定したNLOS反射パス遅延距離を含む探索点擬似距離を算出し、算出した探索点擬似距離に基づいて評価位置を算出し、算出した評価位置と初期位置との距離が閾値以下である探索点を候補位置として選択する。これにより、受信ユニット12が算出した擬似距離に基づいて算出した初期位置が概ね正しいとの想定が成立しない場合であっても、初期位置の周囲に設定した探索点のうちから選択し、候補位置に基づいて現在位置を決定することができるので、正確な現在位置を決定して出力することができる。

[0099] さらに、測位ユニット21は、選択した候補位置の周囲にメッシュを設定し、探索点の設定、探索点擬似距離の算出、評価位置の算出、及び、候補位置の選択を繰り返す。このように、メッシュを設定し、メッシュの格子点を探索点とし、探索点のうちから候補位置を選択する工程を複数回繰り返すので、より適切な候補位置を選択することができ、より正確な現在位置を決定して出力することができる。

[0100] さらに、測位ユニット21は、選択した候補位置の数が所定数未満である場合、初期位置との距離が最小の候補位置を現在位置に決定し、選択した候補位置の数が所定数以上である場合、初期位置との距離が閾値以下の候補位置を再度選択し、再度選択した候補位置に対して初期位置との距離の逆数で重みを付けた平均値を算出して現在位置を決定する。これにより、正確に現在位置を決定することができる。

[0101] さらに、測位ユニット21は、決定した現在位置にパーティクルフィルタを適用して得られた結果を出力する。これにより、スムーズな現在位置の軌

跡を得ることができる。

[0102] 次に、本発明の第2の実施の形態について説明する。なお、第1の実施の形態と同じ構造を有するものについては、同じ符号を付与することによってその説明を省略する。また、前記第1の実施の形態と同じ動作及び同じ効果についても、その説明を省略する。

[0103] 図9は本発明の第2の実施の形態における第2の方法による探索点を示す図、図10は本発明の第2の実施の形態における第2の方法によってパーティクルフィルタを適用した際のパーティクルの分布の例を示す図である。なお、図9において、(a)～(c)は、探索点及び評価位置を設定する工程を示す図である。

[0104] 本実施の形態において、マルチパスの影響を考慮して現在位置を検出する第2の方法は、前記式(1)の解を求めて検出した位置を初期位置とし、該初期位置の周辺の複数位置における擬似距離を算出し、該擬似距離に基づいて検出した位置を候補位置とし、前記初期位置との距離が所定値以内の候補位置に基づいて現在位置を検出する方法である点において、前記第1の実施の形態と同様であるが、初期位置の周辺の複数位置が、前記第1の実施の形態においては、設定されたメッシュの格子点であるのに対し、ランダムに設定した位置である点で相違する。

[0105] なお、位置検出装置11の構成及びマルチパスの影響を考慮して現在位置を検出する第1の方法については、前記第1の実施の形態と同様であるので、その説明を省略する。

本実施の形態において、位置算出部22は、前記第1の実施の形態と同様に、受信ユニット12が所定の時間毎に出力する測位衛星41の位置と擬似距離とを用いて位置検出装置11の位置を算出して設定する。具体的には、位置算出部22は、受信ユニット12が所定の時間間隔で出力する擬似距離列 $\mathbf{R}$ を使用し、測位衛星41の座標、すなわち、衛星位置 $\mathbf{x}_i^p$ とを受信する毎に、加重最小2乗法を用いて前記式(1)の解を求めることによって、アンテナ15乃至受信ユニット12の位置 $\mathbf{x}'$ を算出し、これを初期位置 $\mathbf{x}_0$ とする。

[0106] 続いて、周辺探索部 2 3 は、位置算出部 2 2 が設定した位置の周辺に存在する複数の位置を探索する。具体的には、周辺探索部 2 3 は、初期位置 $\mathbf{x}_0$ の周囲にランダムに探索点 $\mathbf{p}^{(i)}$ を設定する。図 9 (a) には、地図上に初期位置 $\mathbf{x}_0$ 及び探索点 $\mathbf{p}^{(i)}$ をプロットした例が示されている。なお、図 9 (a) ~ (c) に示される地図は、図 5 の中央付近に存在する交差点の周辺を拡大した 2 次元地図であって、グーグルマップに提供された株式会社ゼンリンの地図である。

そして、候補位置選択部 2 5 は、すべての探索点 $\mathbf{p}^{(i)}$ について、前記式 (3) に従って、探索点擬似距離としての擬似距離列 $\hat{\mathbf{R}}^{(i)}$ を算出する。なお、NLOS 反射パス推定部 2 4 は、前記第 1 の実施の形態と同様に、NLOS 反射パス遅延距離を含むマルチパス遅延距離 $\varepsilon^{\text{multipath}}$ を、レイトラシング方と 3 次元地図情報とによって推定する。

[0107] 続いて、位置算出部 2 2 は、擬似距離列 $\hat{\mathbf{R}}^{(i)}$ と衛星位置 $\mathbf{x}_i^s$ とを用いて、加重最小 2 乗法を用いて前記式 (1) の解を求めることによって、位置 $\hat{\mathbf{x}}^{(i)}$ を算出し、評価位置とする。図 9 (b) は、図 9 (a) に示される探索点 $\mathbf{p}^{(i)}$ のうちの 2 点について評価位置 $\hat{\mathbf{x}}^{(i)}$ を算出した例を示し、図 9 (c) は、図 9 (a) に示される探索点 $\mathbf{p}^{(i)}$ のすべてについて評価位置 $\hat{\mathbf{x}}^{(i)}$ を算出した例を示している。

[0108] なお、擬似距離列 $\hat{\mathbf{R}}^{(i)}$ は、潜在的に NLOS 反射パス遅延距離を含むマルチパスのエラーを含んでいるので、算出された評価位置 $\hat{\mathbf{x}}^{(i)}$ は探索点 $\mathbf{p}^{(i)}$ からかなり離れている可能性もある。したがって、図 9 (b) に示されるように、評価位置 $\hat{\mathbf{x}}^{(i)}$ は、探索点 $\mathbf{p}^{(i)}$ の近傍に現れることも、探索点 $\mathbf{p}^{(i)}$ から離れた場所に現れることもある。ここで、仮に探索点 $\mathbf{p}^{(i)}$ が真の現在位置にあれば、その擬似距離列 $\hat{\mathbf{R}}^{(i)}$ は受信ユニット 1 2 が測定した擬似距離列 $\mathbf{R}$ と同様に NLOS 反射パス遅延距離を含むマルチパスの影響を受けることとなり、評価位置 $\hat{\mathbf{x}}^{(i)}$ は初期位置 $\mathbf{x}_0$ の近傍に算出されることが考えられる。そこで、候補位置選択部 2 5 は、初期位置 $\mathbf{x}_0$ と評価位置 $\hat{\mathbf{x}}^{(i)}$ との空間距離である空間距離 $\|\mathbf{x}_0 - \hat{\mathbf{x}}^{(i)}\|$ を探索点 $\mathbf{p}^{(i)}$ の尤度とみなすこととする。

[0109]

さらに、候補位置選択部 2 5 は、受信電力の強度から推定される測位衛星 4 1 の可視状況との整合性に基づき、前記第 1 の実施の形態において説明した条件 (1) ~ (4) に類似する次の条件 (1') ~ (4') を満たす探索点 $\mathbf{P}^{(i)}$ を真の現在位置の候補として探索を行い、擬似距離列 $\hat{\mathbf{R}}^{(i)}$ を算出する。

[0110] (1') 測位衛星 4 1 からの受信電力が十分に大きい場合、建物 4 2 の内部に位置する探索点 $\mathbf{P}^{(i)}$ を使用しない。

(2') 測位衛星 4 1 が NLOS であると認識されたが、反射の回数が 1 回のみである反射パスが見つからない場合、つまり、NLOS パスが複数回の反射又は回折を含む場合、当該測位衛星 4 1 を使用しない。

[0111] (3') 受信電力が所定の閾値以上の測位衛星 4 1 が NLOS であると認識された場合、当該探索点 $\mathbf{P}^{(i)}$ を使用しない。なお、前記所定の閾値は、過去の受信電力の平均値に基づいて決定される。

(4') 受信電力が前記所定の閾値以下の測位衛星 4 1 が LOS であると認識された場合、当該探索点 $\mathbf{P}^{(i)}$ を算出しない。

そして、位置算出部 2 2 は、擬似距離列 $\hat{\mathbf{R}}^{(i)}$ と衛星位置 $\mathbf{x}_s^{(i)}$ とを用いて、加重最小 2 乗法を用いて前記式 (1) の解を求めることによって、位置 $\hat{\mathbf{x}}^{(i)}$ を算出して評価位置とし、出力決定部 2 6 は、出力位置 $\mathbf{x}'$ を決定し、位置検出装置 1 1 の現在位置とする。

[0112] 続いて、出力決定部 2 6 は、決定した出力位置 $\mathbf{x}'$ に対してパーティクルフィルタを適用する。本実施の形態におけるパーティクルフィルタは、その各過程において探索点 $\mathbf{P}^{(i)}$ の設定、評価、及び、現在位置の推定をすべて行うものである。具体的には、前記パーティクルフィルタは、毎秒、初期位置 $\mathbf{x}_0$ の周囲にランダムに設定される探索点 $\mathbf{P}^{(i)}$ をパーティクル、すなわち、粒子に見立ててフィルタリングするものである。つまり、毎秒、初期位置 $\mathbf{x}_0$ の周囲に撒かれる粒子の 1 つ 1 つが探索点 $\mathbf{P}^{(i)}$ であり、各粒子に対し、擬似距離列 $\hat{\mathbf{R}}^{(i)}$ から求められる座標と初期位置 $\mathbf{x}_0$ との距離という指標、及び、前回の位置からの移動距離という指標、すなわち、2 つの指標を用いて評価を行い、尤度として定める。そして、本実施の形態においては、この尤度に基づいて加重平均を取ることによって、現在位置を推定する。なお、パーティクルフィルタの設計は、次のようにした。

[0113]

観測ベクトル： $\mathbf{x}(t) = [\varphi^{ref}(t), \lambda^{ref}(t), v_\varphi^r(t), v_\lambda^r(t)]^T$ ……式 (9)

状態ベクトル： $\mathbf{y}_i = [\varphi(t), \lambda(t), v_\varphi(t), v_\lambda(t)]^T$ ……式 (10)

状態遷移モデル： $\mathbf{y}(t) = F_y(t - \Delta t) + N_v(t)$ ……式 (11)

状態遷移行列： $F = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta t & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta t \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ ……式 (12)

ただし、 φ 、 λ はそれぞれ緯度、経度を表すものとし、 v_φ 、 v_λ はそれぞれの方角への速度を表すものとする。観測ベクトル $\mathbf{x}(t)$ は受信した擬似距離から計算される位置 $\mathbf{x}_0(t) = [\varphi^{ref}(t), \lambda^{ref}(t)]^T$ 、及び、GPS受信器によって測定される速度 $[v_\varphi^r(t), v_\lambda^r(t)]^T$ を備えているものとした。 $N_v(t) \sim N(0, \Sigma_N)$ は状態ノイズを表す正規分布とし、その成分は経験的に定めた。

[0114]

パーティクルフィルタにおける各粒子は、その状態 $\mathbf{p}^{(i)}(t) = \mathbf{y}^{(i)}(t)$ を備える。各粒子の座標を探索点 $\mathbf{P}^{(i)}$ とみなし、探索を行う。ここで真の現在位置は、 $\mathbf{x}_0(t)$ のある程度周囲に存在していると考えられるが、同時に動作の連続性から $\mathbf{y}(t-\Delta t)$ のごく近傍に存在するとも考えられる。これを満たすため、図 10 に示されるように、リサンプリング過程において、半数の粒子を正規分布 $N(\mathbf{x}_0(t), \Sigma_0)$ に従い分布させ、残りの半数を $N(\mathbf{y}(t-\Delta t), \Sigma_{\Delta t})$ に従って分布させる。本実施の形態における実験では、歩行者を対象としたので、前回の推定位置 $\mathbf{y}(t-\Delta t)$ の周囲には半径 2 [m] 程度の広がりを持つように分布させ、初期位置 $\mathbf{x}_0(t)$ の周囲には半径 50 [m] 程度の広がりを持つように分布させた。リサンプリング後、以下の尤度関数 $L(\mathbf{x}_i | \mathbf{y}_i = \mathbf{p}_{i|t-1}^{(i)})$ によって各粒子の尤度 $\pi^{(i)}(t) (i=1, \dots, N_p)$ を計算する。

$$\begin{aligned} \pi^{(i)}(t) &= L(\mathbf{x}_i | \mathbf{y}_i = \mathbf{p}_{i|t-1}^{(i)}) \\ &= L_{\text{multipath}} L_{\text{transition}} \quad \dots \text{式 (13)} \end{aligned}$$

$$L_{\text{multipath}} = \exp \left[-\frac{\|\hat{\mathbf{x}}^{(i)}(t) - \mathbf{x}_0(t)\|^2}{\sigma_0^2} \right] \quad \dots \text{式 (14)}$$

$$L_{\text{transition}} = \exp \left[-\frac{\|\mathbf{p}^{(i)}(t) - F\mathbf{x}(t-\Delta t)\|^2}{\sigma_{\Delta t}^2} \right] \quad \dots \text{式 (15)}$$

ここで、尤度関数は、状態遷移の連続性及び擬似距離の類似性の双方を考慮し、それぞれを正規分布と考え、2つのガウス関数の掛け合わせとなっている。そして、最終的に全粒子の尤度に応じた加重平均を現在位置としての推定位置 $\mathbf{x}'$ とする。

[0115] なお、その他の点の動作については、前記第 1 の実施の形態と同様であるので、その説明を省略する。

[0116] 次に、本発明の第 3 の実施の形態について説明する。なお、第 1 及び第 2 の実施の形態と同じ構造を有するものについては、同じ符号を付与することによってその説明を省略する。また、前記第 1 及び第 2 の実施の形態と同じ動作及び同じ効果についても、その説明を省略する。

[0117] 図 11 は本発明の第 3 の実施の形態における NLOS パス及び LOS パスと構造物のエッジとの関係を説明する図である。なお、図において、(a) はパスが構造物の外側を通る場合の図、(b) はパスが構造物によって遮られている場合の図である。

- [0118] 本実施の形態においては、構造物の誤差モデルを考慮して位置推定を行う。そのため、構造物について、該構造物の形状等を計測したデータベースである数値表層モデル等が示す構造物のエッジ（縁）を基準に一定範囲をレイ（Ray）乃至パスが通過する場合、LOS及びNLOSの両方を仮定して計算し、尤もらしい方を判別する。
- [0119] 具体的には、NLOS反射パス推定部24は、レイトレーシング法に基づいてマルチパスのエラーを推定する前に、位置検出装置11の現在位置からの視野内にある測位衛星41がLOSであるかNLOSであるかの判定を行う。該判定は、位置検出装置11の現在位置と各測位衛星41とを結ぶ線分上に障害物が存在するか否かに基づいて、行われる。この場合、3次元地図情報に含まれる不確かさ（構造物の誤差）を考慮する必要があるので、図11に示されるような、位置検出装置11の周囲の構造物のエッジとレイ乃至パスとの最短距離 $d_{\min}$ を算出する。
- [0120] そして、最短距離 $d_{\min}$ の絶対値 $|d_{\min}|$ が閾値 $d_{\text{threshold}}$ 以上である場合には、障害物が存在すればNLOSであり、障害物が存在しなければLOSであると判別する。また、絶対値 $|d_{\min}|$ が閾値 $d_{\text{threshold}}$ 未満である場合には、NLOS及びLOSの両方を仮定して計算し、尤もらしい方を選択する。なお、前記閾値 $d_{\text{threshold}}$ の数値は、3次元地図情報の精度に応じて設定されるが、例えば、1[m]である。
- [0121] なお、尤もらしさの判別は、次の（7）～（9）の方法のうちのいずれか1つ、又は、複数個の選択によって行われる。
- （7）最小2乗法の残差：位置検出装置11の現在位置の検出は、加重最小2乗法を用いて、前記式（1）のような擬似距離列の式の解を求めることによって行われるが、その残差をもって尤もらしさの指標とする。具体的には、NLOSであるとして、そのマルチパス遅延距離を擬似距離に含めた場合の残差と、LOSであるとした場合の残差とを比較し、残差の小さい方を選択する。
- （8）信号受信強度：測位衛星41からの衛星信号のある時点における信号

受信強度、すなわち、受信電力がその時点までの受信電力の平均値より非常に大きい場合には、LOSであるとし、非常に小さい場合にはNLOSであるとする。

(9) 反射による擬似距離の補正を行った後に求めた解と初期解との差：NLOSであるとしてそのマルチパス遅延距離を擬似距離に含めて算出した受信ユニット12の位置 $\mathbf{x}_{\text{NLOS}}$ と、LOSであるとして算出した受信ユニット12の位置 $\mathbf{x}_{\text{LOS}}$ との各々から、受信した擬似距離に基づいて算出した初期位置 $\mathbf{x}_0$ までの距離を比較し、短い方を選択する。

[0122] なお、位置検出装置11の構成及びその他の点の動作については、前記第1及び第2の実施の形態と同様であるので、その説明を省略する。

[0123] 次に、本発明の第4の実施の形態について説明する。なお、第1～第3の実施の形態と同じ構造を有するものについては、同じ符号を付与することによってその説明を省略する。また、前記第1～第3の実施の形態と同じ動作及び同じ効果についても、その説明を省略する。

[0124] 図12は本発明の第4の実施の形態におけるNLOSである確率の例を示す図である。

[0125] 本実施の形態においても、前記第3の実施の形態と同様に、構造物の誤差モデルを考慮して位置推定を行う。もっとも、本実施の形態においては、構造物のエッジの存在位置に誤差モデルを仮定し、レイが構造物のエッジ近傍を通る場合、前記第3の実施の形態のように、構造物のエッジとレイとの最短距離 $d_{\min}$ についての閾値 $d_{\text{threshold}}$ を設定する代わりに、誤差モデルによってNLOS及びLOSの確率を定義する。すなわち、最短距離 $d_{\min}$ に応じたNLOS及びLOSの確率を定義する。そして、該確率を前記第2の実施の形態において説明したパーティクルフィルタのような位置推定モデルに組み入れる。

[0126] 具体的には、図11に示されるように、構造物のエッジから外側に向かう方向を正とした場合、構造物のエッジとレイとの最短距離を $d_{\min}$ とし、NLOSである確率は、図12に示されるような相補誤差関数の積分値に従うものとする。なお、NLOSである確率は、次の式(16)で定義される。

[0127] $P(\text{NLOS}|d_{\min}) = \int_{d_{\min}}^{\infty} N(x, 0, \sigma_{\text{map}}) dx \quad \dots \text{式 (16)}$

[0128] ここで、 $N(x, 0, \sigma_{\text{map}})$ は確率変数 x 、期待値 0 、分散 σ_{map} に従う正規分布である。また、 σ_{map} は 3 次元地図の精度から決定される。図 12 には、縦軸に NLOS である確率 $P(\text{NLOS} | d_{\min})$ を取り、横軸に最短距離 $d_{\min}$ を取り、 $\sigma_{\text{map}} = 0.25$ とした例が示されている。

[0129] 本実施の形態においては、この確率をもって NLOS であるか LOS であるかの判定を行い、擬似距離を求め、候補位置の評価を行う。この際、候補位置の尤もらしさの指標に対して、判定された NLOS 又は LOS の尤もらしさとして、この確率を乗じる。つまり、候補位置の尤度に対し、LOS であると判定された場合には LOS の確率を乗じ、NLOS であると判定された場合には NLOS の確率を乗じる。

[0130] 例えば、前記第 2 の実施の形態において説明したパーティクルフィルタにおける尤度関数を $\alpha^{(i)}(t) = L_{\text{multipath}} L_{\text{transition}}$ とすると、この尤度関数に測位衛星 41 の数だけ $P(\text{LOS} | d_{\min})$ 又は $P(\text{NLOS} | d_{\min})$ を乗じる。その結果、尤度関数は、次の式 (17) のようになる。

[0131] $\alpha^{(i)}(t) = L_{\text{multipath}} L_{\text{transition}} \prod_{n=1}^N P(\text{NLOS}_n | d_{\min,n}) \quad \dots \text{式 (17)}$

[0132] なお、位置検出装置 11 の構成及びその他の点の動作については、前記第 1 及び第 2 の実施の形態と同様であるので、その説明を省略する。

[0133] 次に、本発明の第 5 の実施の形態について説明する。なお、第 1 ～ 第 4 の実施の形態と同じ構造を有するものについては、同じ符号を付与することによってその説明を省略する。また、前記第 1 ～ 第 4 の実施の形態と同じ動作及び同じ効果についても、その説明を省略する。

[0134] 図 13 は本発明の第 5 の実施の形態における位置検出システムの構成を示す図である。

[0135] 本実施の形態の位置検出システムにおいて、位置検出装置 11 は、図に示されるように、機能部として測位ユニット 21 を備えておらず、該測位ユニット 21 に代えて、受信ユニット 12 の擬似距離算出部 14 が算出した擬似

距離に基づいて初期位置を算出する測位計算部 28 を備える。一方、情報提供サーバ 31 は、位置検出装置 11 の位置を算出する位置算出部 22 と、該位置算出部 22 の算出した位置の周辺に存在する複数の位置を探索する周辺探索部 23 と、位置検出装置 11 の位置から測位衛星 41 までの電波伝播に生じ得るマルチパスに含まれる NLOS 反射パスの遅延距離を推定する NLOS 反射パス推定部 24 と、前記周辺探索部 23 が探索した位置に基づいて候補位置を選択する候補位置選択部 25 と、該候補位置選択部 25 が選択した候補位置に基づいて位置検出装置 11 の現在位置を決定して出力する現在位置決定部としての出力決定部 26 と、3次元地図情報を含む地図情報を記憶して格納する地図データベース 27 とを含む測位ユニット 21 を備える。

[0136] そして、位置検出装置 11 は、受信ユニット 12 が出力した測位衛星 41 の位置、擬似距離、信号受信強度等、及び、測位計算部 28 が算出した初期位置を含む情報を、通信部 17 を介して情報提供サーバ 31 に送信する。すると、該情報提供サーバ 31 は、位置検出装置 11 から受信した情報に基づき、3次元地図情報及びレイトレーシング法を用いて初期位置の周囲に複数の候補位置を選択し、選択された候補位置に基づいて現在位置を決定して出力し、出力された現在位置を位置検出装置 11 に返信する。

[0137] このように、本実施の形態の位置検出システムにおいては、機能部としての測位ユニット 21 が位置検出装置 11 に備えられておらず、情報提供サーバ 31 に備えられているので、位置検出装置 11 の演算負荷及び記憶負荷を低減することができる。したがって、位置検出装置 11 が、例えば、携帯電話機やスマートフォンのように、演算能力及び記憶能力が比較的低く、バッテリー等の電源の容量が比較的小さな装置であっても、正確な現在位置の出力を長時間に亘（わた）って継続することができる。

[0138] また、情報提供サーバ 31 に多数の位置検出装置 11 を通信可能に接続することによって、各位置検出装置 11 から受信した情報を、いわゆるプローブデータとして、情報提供サーバ 31 に蓄積して利用することができる。

[0139] なお、本実施の形態においては、測位ユニット 21 の機能のすべてを位置

検出装置 11 から情報提供サーバ 31 に移した例について説明したが、測位ユニット 21 の機能の一部、例えば、地図データベース 27 等、のみを情報提供サーバ 31 に移し、残りを位置検出装置 11 に残すこともできる。また、情報提供サーバ 31 及び位置検出装置 11 の両方が測位ユニット 21 の機能の全部を備えるようにすることもできる。

[0140] さらに、情報提供サーバ 31 が算出した現在位置等の情報を位置検出装置 11 に返信するか否かは、ケースバイケースで適宜選択することができる。例えば、プローブデータの蓄積が目的である場合には、算出した情報を位置検出装置 11 に返信する必要はない。

[0141] なお、位置検出装置 11 及び情報提供サーバ 31 のその他の点の構成及び動作については、前記第 1 ～ 第 4 の実施の形態と同様であるので、その説明を省略する。

[0142] 次に、本発明の第 6 の実施の形態について説明する。なお、第 1 ～ 第 5 の実施の形態と同じ構造を有するものについては、同じ符号を付与することによってその説明を省略する。また、前記第 1 ～ 第 5 の実施の形態と同じ動作及び同じ効果についても、その説明を省略する。

[0143] 本実施の形態においては、構造物の建て替え等による構造変化を考慮する。具体的には、図 11 に示されるように、パスが構造物のエッジ近傍を通る場合、測位衛星 41 からの電波伝播が NLOS パス（反射パス）であると仮定するよりも LOS パス（直接パス）であると仮定する方が尤もらしいことが、前記第 3 の実施の形態で説明した（7）～（9）の方法で判別された場合には、当該構造物は存在しない、と判定する。つまり、構造物ヘレイが到達する部分が、前述した構造物の誤差モデルで仮定した構造物の誤差範囲内であれば、構造物の計測誤差が原因であると判定し、前記構造物の誤差範囲外であれば、構造物が存在しないと判定する。

[0144] 本実施の形態においても、前記第 3 の実施の形態と同様に、最短距離 $d_{\min}$ の絶対値 $|d_{\min}|$ が閾値 $d_{\text{threshold}}$ 以上である場合には、3 次元地図情報を照会して、位置検出装置 11 の現在位置と各測位衛星 41 とを結ぶ線分上に障

害物が存在するか否かを判別し、LOSであるかNLOSであるかの判定を行う。ここで、構造物の建て替え等に起因して、3次元地図情報が実際とは大きく異なる場合、当該構造物が存在しないと判定する。該判定は、次の(10)～(14)の方法のうちのいずれか1つ、又は、複数個の選択によって行われる。

(10) NLOSであると仮定するよりも、LOSであると仮定する方が最小2乗法の残差が小さい場合には、構造物が存在しないと判定する。

(11) ある方向の単数又は複数の測位衛星41からのレイについての判定がNLOSであるにも拘わらず、反射パスが見つからない場合には、構造物が存在しないと判定する。

(12) ある方向の単数又は複数の測位衛星41からのレイについての判定がNLOSであるにも拘わらず、それらの受信強度がそれぞれの測位衛星41の平均受信強度と比較して十分に強い場合には、構造物が存在しないと判定する。

(13) 前記(10)～(12)で説明したケースの1つ又は複数が時間的に連続する場合には、構造物が存在しないと判定する。

(14) 複数の位置検出装置11によって、前記(10)～(13)で説明したケースが観測される場合には、構造物が存在しないと判定する。

[0145] なお、構造物が存在しないとの最終的な判定は、複数の位置検出装置11の判定に基づいて行われることが望ましい。特に、構造物の異なる部位にレイがクロスするようなケースは、構造物が存在しない可能性が高い。そこで、位置検出装置11は、情報提供サーバ31と通信を行い、構造物が存在しないと判定した場合、受信ユニット12が出力した測位衛星41の位置、疑似距離、信号受信強度等、位置検出装置11の現在位置等のデータを判定の結果とともに、情報提供サーバ31に送信することが望ましい。

[0146] これにより、該情報提供サーバ31は、複数の位置検出装置11の判定に基づいて構造物が存在しないと最終的に判定を行い、例えば、3次元地図情報における当該構造物の位置に未存在を示すフラグを立てることによって、

3次元地図情報の修正を行うことができる。前記フラグの設定は、例えば、1[m]立方のメッシュの各セルに対して行ってもよいし、当該構造物全体で行ってもよい。なお、このような3次元地図情報の修正は、位置検出装置11が情報提供サーバ31から受信することによって、位置検出装置11の地図データベース27に含まれる3次元地図情報に反映させることもできる。

[0147] また、多数の位置検出装置11からデータを収集することによって、3次元地図情報に含まれていない構造物の存在を推定することができる。

[0148] 例えば、空き地に高層ビル等の構造物が新築された場合のように、3次元地図情報では存在しないことになっている構造物が現実存在する場合、該構造物の陰に入った測位衛星41に関しては、マルチパス推定等において矛盾が生じるので外れ値となり、測位に利用されない。したがって、測位自体は通常通りに行うことができ、さらに、その座標からLOSであるかNLOSであるかの判定に矛盾がある測位衛星41についてのデータを収集することができる。そして、情報提供サーバ31は、このようなデータを多数の位置検出装置11から収集することによって、3次元地図情報に含まれていない構造物の形状を推定することができる。

[0149] また、例えば、レイトレーシング法と3次元地図情報とによってLOSである可能性が高い場合であっても、前記第3の実施の形態で説明した(7)～(9)の方法によってNLOSであることが疑われる場合がある。そして、NLOSであることが疑われるということは、パス上にパスを遮る構造物(3次元地図情報に含まれていない)が存在する可能性があるということである。この場合、3次元地図情報の立法メッシュ毎に投票を行って構造物の存在分布を決定する。立法メッシュに構造物の存在の投票を行う場合には、隣接する立法メッシュにも投票分布確率分布を設けることによって、ロバストな設計が可能となる。この場合には、構造物の形状が不明であるので、構造物全体として生成することはできない。

[0150] なお、本実施の形態においては、情報提供サーバ31が、位置検出装置1

1と通信を行うことによって、多数の位置検出装置11からのデータを収集し、構造物の有無について3次元地図情報の修正を行う例について説明したが、多数の位置検出装置11が相互に通信を行うことによってデータを収集し、構造物の有無について3次元地図情報の修正を行うようにすることもできる。

[0151] また、位置検出装置11及び情報提供サーバ31のその他の点の構成及び動作については、前記第1～第5の実施の形態と同様であるので、その説明を省略する。

[0152] 次に、本発明の第7の実施の形態について説明する。なお、第1～第6の実施の形態と同じ構造を有するものについては、同じ符号を付与することによってその説明を省略する。また、前記第1～第6の実施の形態と同じ動作及び同じ効果についても、その説明を省略する。

[0153] 図14は本発明の第7の実施の形態における第2の方法による探索点を示す図である。

本実施の形態において、マルチパスの影響を考慮して現在位置を検出する第2の方法は、前記式(1)の解を求めて検出した位置を初期位置とし、該初期位置の周辺に設定した複数の探索点における擬似距離を算出し、該擬似距離に基づいて候補位置を選択し、前記初期位置との距離が所定値以内の候補位置に基づいて現在位置を検出する方法である点において、前記第1及び第2の実施の形態と同様であるが、候補位置を選択する際に、受信ユニット12が測定した測位衛星41までの擬似距離の集合である擬似距離列 $\mathbf{R}$ と、3次元地図情報とレイトレーシング法とによって推定したNLOS反射パス遅延距離を含むマルチパス遅延距離を含む探索点擬似距離の集合である擬似距離列 $\hat{\mathbf{R}}^{(i)}$ との類似度を検証し、該類似度が高い探索点を候補位置として選択する点で相違する。

[0154] なお、位置検出装置11の構成及びマルチパスの影響を考慮して現在位置を検出する第1の方法については、前記第1の実施の形態と同様であるので、その説明を省略する。

[0155] 位置検出装置11の真の位置から観れば、3次元地図情報とレイトレーシング法とによって推定した測位衛星41までの距離と、受信ユニット12が

測定した測位衛星 4 1 までの距離とは等しくなるはずである。そこで、本実施の形態においては、受信ユニット 1 2 が測定した測位衛星 4 1 までの距離である観測値と、3次元地図情報とレイトレーシング法とによって推定した測位衛星 4 1 までの距離である推定値とを比較する。

[0156] 該推定値は、測位衛星 4 1 からの電波伝播がLOSパスである場合、直線距離になり、測位衛星 4 1 からの電波伝播が反射パスである場合、レイトレーシング法によって導出される反射パスの道のりになる。また、前記観測値は、受信ユニット 1 2 が測定した測位衛星 4 1 までの擬似距離には受信ユニット 1 2 が備える時計のGPS時系からの遅れ、電離層による遅延距離等のエラーが含まれているので、これらを除いた値である。なお、観測信号だけでは反射パスの影響を判定することができないので、前記観測値は反射パスの道のりに相当する。

本実施の形態において、位置算出部 2 2 は、前記第 1 及び第 2 の実施の形態と同様に、受信ユニット 1 2 が所定の時間間隔で出力する擬似距離列 R を使用し、測位衛星 4 1 の座標、すなわち、衛星位置 x^p を受信する毎に、加重最小 2 乗法を用いて前記式 (1) の解を求めることによって、アンテナ 1 5 乃至受信ユニット 1 2 の位置 x' を算出し、これを初期位置 x_0 とする。

続いて、周辺探索部 2 3 は、前記第 1 及び第 2 の実施の形態と同様に、位置算出部 2 2 が設定した初期位置 x_0 の周辺に存在する複数の位置に探索点 $P^{(i)}$ を設定する。図 1 4 に示される例において、丸印 5 6 は初期位置 x_0 を示し、丸印 5 7-1 ~ 5 7-3 は探索点 $P^{(1)}$ ~ $P^{(3)}$ を示している。なお、実際の位置検出装置 1 1 の現在位置、すなわち、真の現在位置は、図示されていないが、道路の右側であって丸印 5 6 の近傍である。

[0157]

前述のように、本実施の形態においては、探索点のうちから候補位置を選択する際に、受信ユニット12が測定した測位衛星41までの擬似距離の集合である擬似距離列 $\mathbf{R}$ と、3次元地図情報とレイトレーシング法とによって推定したNLOS反射パス遅延距離を含むマルチパス遅延距離を含む探索点擬似距離の集合である擬似距離列 $\hat{\mathbf{R}}^{(i)}$ との類似度を検証することにより、探索点 $\mathbf{P}^{(i)}$ の評価を行う。すなわち、類似度が高い探索点 $\mathbf{P}^{(i)}$ を候補位置として選択する。これには、次の(15)～(17)の方法がある。

[0158] (15) 受信ユニット12が測定した擬似距離列 $\mathbf{R}$ から受信ユニット12が備える時計のGPS時系からの遅れ $\delta t'$ に相当する距離、すなわち、受信機時計誤差距離を取り除いたものと、探索点 $\mathbf{P}^{(i)}$ 及び測位衛星41間の距離とを比較して類似度を検証する。

(16) 受信ユニット12が測定した擬似距離列 $\mathbf{R}$ と、受信機時計誤差距離を含めて計算された探索点擬似距離としての擬似距離列 $\hat{\mathbf{R}}^{(i)}$ とを比較して類似度を検証する。

[0159] (17) 受信ユニット12が測定した擬似距離列 $\mathbf{R}$ における擬似距離同士の差と、探索点擬似距離としての擬似距離列 $\hat{\mathbf{R}}^{(i)}$ における擬似距離同士の差とを比較して類似度を検証する。

前記(15)～(17)の方法は論理的に等価であるので、ここでは、説明の都合上、前記(16)の方法を採用した場合について説明する。

[0160] 候補位置選択部25は、すべての探索点 $\mathbf{P}^{(i)}$ について、前記式(3)に従って、探索点擬似距離としての擬似距離列 $\hat{\mathbf{R}}^{(i)}$ を算出する。なお、NLOS反射パス推定部24は、前記第1の実施の形態と同様に、NLOS反射パス遅延距離を含むマルチパス遅延距離 $\varepsilon^{\text{multipath}}$ を、レイトレーシング法と3次元地図情報とによって推定する。

そして、候補位置選択部25は、受信ユニット12が測定した擬似距離列 $\mathbf{R}$ と、探索点擬似距離としての擬似距離列 $\hat{\mathbf{R}}^{(i)}$ とを比較して類似度を検証する。例えば、次の式(18)によって、測位衛星41毎に擬似距離の差の平均値を求め、該平均値を類似度を示す指標とする。

[0161]

$$\frac{\sum_{n=1}^N R_n - \hat{R}_n^{(i)}}{N} \quad \dots \text{式 (18)}$$

ここで、 R_n は、 n 番目の測位衛星41について算出された擬似距離、 N は、観測されている測位衛星41の数である。

なお、前記式(18)による平均値は、小さければ前記類似度が高く、大きければ該類似度が低いことを意味する。

[0162] 図14において、丸印57-1～57-3示される探索点 $P^{(1)} \sim P^{(3)}$ について、前記式(18)による平均値を求めたところ、探索点 $P^{(1)}$ では6.70、探索点 $P^{(2)}$ では6.21、探索点 $P^{(3)}$ では16.02となった。

したがって、前記類似度が低く擬似距離の差の平均値が大きいものを排除するような閾値を設定することによって、道路の左側にあつて、初期位置 x_0 から大きく離間している探索点 $P^{(3)}$ を、真の現在位置の候補位置から排除することができる。

なお、その他の点の動作については、前記第1及び第2の実施の形態と同様であるので、その説明を省略する。

[0163] このように、本実施の形態においては、受信ユニット12が測定した測位衛星41までの擬似距離の集合である擬似距離列 R と、3次元地図情報とレイトレーシング法とによって推定したNLOS反射パス遅延距離を含む探索点擬似距離の集合である擬似距離列 $\hat{R}^{(i)}$ との類似度を、候補位置を絞るための評価指標とする。すなわち、前記類似度を候補位置を選択する基準とする。そして、前記類似度は、候補位置を選択するための単独の評価指標乃至基準として使用することもできるし、前記第1及び第2の実施の形態において説明した候補位置を選択するための評価指標乃至基準に、更に加えることもできる。

[0164] 次に、本発明の第8の実施の形態について説明する。なお、第1～第7の実施の形態と同じ構造を有するものについては、同じ符号を付与することによってその説明を省略する。また、前記第1～第7の実施の形態と同じ動作及び同じ効果についても、その説明を省略する。

[0165] 図15は本発明の第8の実施の形態におけるコリレータが出力する相関波の例を示す図、図16は本発明の第8の実施の形態における逆相マルチパス

である可能性を考慮して検出された現在位置の軌跡を示す図である。なお、図 16 において、(a) は受信電力が閾値以下で L O S の場合に擬似距離を算出しないときの結果を示す図、(b) は受信電力が閾値以下で L O S の場合に逆相マルチパスである可能性を考慮したときの結果を示す図である。

[0166] 前記第 1 及び第 2 の実施の形態においては、受信電力の強度から推定される測位衛星 4 1 の可視状況との整合性を考慮し、受信電力の強度が弱い場合には測位衛星 4 1 が L O S であり得ないとの前提に基づいて、ある探索点において、受信電力が所定の閾値以下の測位衛星 4 1 が L O S であると認識された場合には、当該探索点から当該測位衛星 4 1 までの擬似距離を算出しないようになっている。

[0167] しかしながら、受信電力の強度が弱い場合、測位衛星 4 1 が N L O S であることの他に、いわゆる逆相マルチパスである可能性が存在する。そこで、本実施の形態においては、3次元地図情報及びレイトレーシング法を用い、探索点からの視野内にある測位衛星 4 1 が L O S であり、かつ、前記探索点で観測された擬似距離と 3次元地図情報及びレイトレーシング法に基づいて推定される擬似距離とが近い場合には、逆相マルチパスである可能性を考慮する。つまり、受信電力の強度が弱くても、測位衛星 4 1 が L O S である、と判定され得る。観測された擬似距離が推定される擬似距離よりも短い場合には、その可能性が更に高くなる。

[0168] なお、測位衛星 4 1 が L O S である場合でも、受信ユニット 1 2 は、マルチパスの影響を受け、直接パスを伝播した電波の他に反射パスを伝播した電波を受信し得る。そして、逆相マルチパスとは、測位衛星 4 1 から直接パスを伝播して受信ユニット 1 2 によって受信された電波の位相と、反射パスを伝播して受信ユニット 1 2 によって受信された電波の位相とがほぼ 180 度ずれてしまう、すなわち、ほぼ逆相になってしまうマルチパスを意味する。前記受信ユニット 1 2 等の G P S 受信器は、通常、コリレータ（相関器）を備え、微弱電波信号の相関波の波形から真のピークを検出するようになっている。そのため、直接パスを伝播して受信された電波の位相と、反射パスを

伝播して受信された電波の位相とがほぼ逆相になると、互いに打ち消し合うので、ピークが低くなり、受信電力の強度が弱くなる。

[0169] したがって、受信電力の強度が弱い場合、前記受信ユニット12が備える図示されないコリレータが出力する相関波の波形の左右対称性を評価することによって、測位衛星41がNLOSであるか、逆相マルチパスであるかを識別することができる。対称性が低ければNLOSであり、対称性が高ければ逆相マルチパスである、と考えられる。

[0170] なお、マルチパスの影響によって、図15に示されるように、GPS受信器のコリレータが出力する相関波の波形のピークが左右どちらかにずれることは、既に確認されている（例えば、非特許文献2参照。）。図15において、縦軸は相関値（無次元）を表し、横軸は時間（chip：チップ）を表している。なお、1 [chip] は、約300 [m] の遅延距離に相当する。

非特許文献2：久保信明、安田明生、鈴木崇史、「衛星測位におけるマルチパス誤差の削減と高精度化への可能性について」、電子情報通信学会、ITS研究会研究報告、2004年7月「信学技報」、1－6頁。

[0171] また、探索点の移動軌跡、すなわち、トラッキングと受信電力の強度の時系列データとを併せた判定によって、NLOSと考えるよりも逆相マルチパスであると考えの方が自然である場合には、例えば、現在までの探索点の位置から推定して、急にNLOSに変わるはずがないと考えられる場合には、逆相マルチパスであると判定する。

[0172] そこで、本実施の形態においては、測位衛星41からの受信電力の強度が弱い場合、測位ユニット21は、受信ユニット12が備えるコリレータが出力する相関波の波形に基づき、測位衛星41からの電波伝播がLOSであるかNLOSであるかを判定する。そして、測位ユニット21は、相関波の波形の左右対称性が高いときは、測位衛星41からの電波伝播がLOSであって逆相マルチパスであると判定する。

[0173] 図16には、出力決定部26が出力した出力位置、すなわち、位置検出装

置 1 1 の現在位置を地図上にプロットした結果が示されている。図 1 6 (a) は、前記第 1 及び第 2 の実施の形態のように、受信電力が所定の閾値以下の測位衛星 4 1 が L O S であると認識された探索点を棄却した、すなわち、候補位置として選択せずに、出力位置を算出した場合の結果である。図 1 6 (b) は、受信電力が所定の閾値以下の測位衛星 4 1 が L O S であると認識された探索点も、逆相マルチパスである可能性を考慮し、棄却することなく候補位置として選択し、出力位置を算出した場合の結果である。なお、図 1 6 に示される地図は、図 5 の中心付近の交差点及びその周辺を示す 3 次元地図である。

[0174] 図 1 6 において、複数の四角印 5 8 は、道路上を発明者が位置検出装置 1 1 (G P S 受信器) を所持して移動した実際の移動軌跡である。また、複数の丸印 5 9 は、出力決定部 2 6 が出力した位置検出装置 1 1 の現在位置の軌跡である。

[0175] 図 1 6 (a) では出力位置として算出することができなかつたいくつかの地点が、図 1 6 (b) では算出されていることが分かる。また、数字の上でも、図 1 6 (a) の結果では、探索の成功率が 7 0 [%] 程度であるのに対し、図 1 6 (b) の結果では、探索の成功率が 9 0 [%] 以上にまで上昇した。

[0176] なお、位置検出装置 1 1 の構成及びその他の点の動作については、前記第 1 及び第 2 の実施の形態と同様であるので、その説明を省略する。

[0177] 次に、本発明の第 9 の実施の形態について説明する。なお、第 1 ~ 第 8 の実施の形態と同じ構造を有するものについては、同じ符号を付与することによってその説明を省略する。また、前記第 1 ~ 第 8 の実施の形態と同じ動作及び同じ効果についても、その説明を省略する。

[0178] 図 1 7 - 1 は本発明の第 9 の実施の形態における反射波とコリレータが出力する相関波との関係を示す図、図 1 7 - 2 は本発明の第 9 の実施の形態における遅延距離とマルチパス誤差との関係を示す図、図 1 8 は本発明の第 9 の実施の形態におけるマルチパス誤差を補正して検出された現在位置を示す

図である。なお、図 17-1 において、(a) は反射波が同相である場合を示す図、(b) は反射波が逆相である場合を示す図であり、図 17-2 において、(a) は通常のコリレータの場合を示す図、(b) は複数種類のコリレータを比較した場合を示す図である。

[0179] 前記第 1 及び第 2 の実施の形態においては、受信電力の強度から推定される測位衛星 41 の可視状況との整合性を考慮し、受信電力の強度が強い場合には測位衛星 41 が NLOS であり得ないから LOS であるとの前提に基づいて、反射パスを考慮することなく、当該探索点から当該測位衛星 41 までの擬似距離を算出するようになっている。

[0180] しかしながら、測位衛星 41 が LOS である場合でも、受信ユニット 12 は、マルチパスの影響を受け、直接パスを伝播した電波の他に反射パスを伝播した電波を受信し得る。そこで、本実施の形態においては、3次元地図情報及びレイトレーシング法を用い、測位衛星 41 からの電波伝播が LOS であるか NLOS であるかを判定し、LOS である場合には直接パス及び反射パスの両方を含むマルチパスであるか否かを判定し、マルチパスであるときには受信ユニット 12 が算出した擬似距離を反射パスの遅延を考慮して補正し、補正した擬似距離に基づいて現在位置を決定する。つまり、測位衛星 41 からの受信電力の強度が強い場合、測位ユニット 21 は、3次元地図情報及びレイトレーシング法を用いて測位衛星 41 が LOS であるか NLOS であるかを判定し、LOS であってマルチパスであるときは、遅延を考慮して擬似距離を補正し、補正した擬似距離に基づいて現在位置を決定する。

[0181] なお、測位衛星 41 が NLOS である場合には、前記第 1 及び第 2 の実施の形態の場合と同様に、当該測位衛星 41 からの電波を測位計算に使用しない。

[0182] そして、測位衛星 41 が LOS である場合には、当該測位衛星 41 からの直接波（直接パスを伝播した電波）のみを受信しているのか、又は、直接波のみならず建物の壁面等で反射された反射波（反射パスを伝播した電波）をも受信しているのか、つまり、マルチパスであるのか、を判定する。

[0183] ここで、マルチパスであるか否かを判定するためには、2つの方法がある。

[0184] 第1の方法は、3次元地図情報及びレイトレーシング法によって電波伝播の経路、すなわち、パスを判定する方法である。この方法では、測位衛星41から位置検出装置11乃至受信ユニット12までに、直接パス及び反射パスの両方が存在すればマルチパスであると判定し、直接パスのみであればマルチパスでないと判定する。

[0185] また、第2の方法は、コリレータが出力する相関波の波形に基づいて判定する方法である。直接波のみが受信される環境において、相関波の波形は、図17-1で実線で示されるような形状となる。しかし、破線で示されるような反射波も同時に受信すると、出力される相関波の波形は、一点鎖線で示されるように歪（ゆが）んだものとなる。したがって、相関波の波形に基づいて、直接パス及び反射パスの両方を含むマルチパスであるか否かを判定することができる。なお、反射波の直接波に対する位相によって相関波の波形が変化する。すなわち、同相であれば、図17-1(a)に示されるように、右側が膨らみ、逆相であれば、図17-1(b)に示されるように、右側が凹む。

[0186] 本発明の発明者は、第1の方法を採用して実験を行った。第1の方法では、3次元地図情報及びレイトレーシング法によって反射パスの存在が判定されると、該反射パスの直接パスに対する遅延距離を求めることができる。なお、反射波の直接波に対する位相の判定は、受信電力の強度を参考にして行うことができる。すなわち、受信電力の強度が強ければ同相であり、弱ければ逆相であると判定することができる。また、受信ユニット12が相関波を出力可能である場合には、該相関波の波形に基づいて、反射波の直接波に対する位相を判定することができる。

[0187] なお、前記遅延の考慮の方法は、次の(18)及び(19)の2通りである。

(18) 平均化された(経験値による)モデルを仮定し、検波(測距)の誤

差を見積もる。

(19) ビル等の構造物の表面の素材(反射率)を考慮した反射波を実際に波形に重ねて、検波(測距)の誤差を見積もる。

[0188] 反射パスの直接パスに対する遅延距離に応じた擬似距離に含まれるマルチパス誤差の大きさは、コリレータの種類、反射波の強度、位相、遅延距離によって決まる。この理論値がどのようなになるかは、図17-2に示されている。

[0189] 図17-2に示されるように、コリレータの仕様に基づいて理論的に求めた遅延距離とマルチパス誤差との関係が確認されている(例えば、非特許文献3参照。)。図17-2において、(a)は通常のコリレータの場合を示し、(b)は複数種類のコリレータを比較した場合を示している。なお、図17-2は、マルチパス反射波の振幅は直接波(直接パスを伝播した電波)の振幅の半分である、と仮定して算出されている。実際には、マルチパス反射波の振幅や遅延距離は、時々刻々に変化するので、マルチパス誤差は、図17-2に示される最大値の範囲内で生じることになる。

非特許文献3: M. Braasch, "Performance comparison of multipath mitigating receiver architectures," in Aerospace Conference, 2001, IEEE Proceedings., vol. 3, 2001, pp.3/1309-3/1315 vol.3。

[0190] これに基づいて、本発明の発明者が実験に使用した位置検出装置11(GPS受信器)におけるマルチパス誤差のモデルを考える。最近のGPS受信器が備えるコリレータは、いわゆるナローコリレータ(Narrow Correlator)である場合が多いので、ここでは、ナローコリレータを想定し、図17-2(b)に基づき、簡単な見積もりとして、遅延距離dに対するマルチパス誤差 ε は、次の式(19)又は(20)で表されるものとする。

$$\varepsilon = (\alpha / 30) d \quad (d < 30 \text{ の場合}) \quad \cdots \text{式 (19)}$$

$$\varepsilon = \alpha \quad (d \geq 30 \text{ の場合}) \quad \cdots \text{式 (20)}$$

ここで、 α は、経験的に、6[m]であるものとする。

[0191] そして、測位ユニット 21 は、遅延距離 d に応じたマルチパス誤差 ε を算出し、該マルチパス誤差 ε によって擬似距離を補正する。

[0192] 図 18 には、発明者等が位置検出装置 11 を携帯しながら 20 秒間静止した状態で測位した結果、すなわち、位置検出装置 11 で現在位置を検出した第 1 の実験の結果が示されている。

[0193] 具体的には、前記第 1 及び第 2 の実施の形態で説明したような初期位置の周辺に複数位置（探索点）を設定して該複数位置における擬似距離を算出する方法を採用することなく、加重最小 2 乗法（重み付き最小 2 乗法）を用いて、前記式（1）の解を求めた結果である。なお、図 18 に示される地図は、図 16 に示される交差点及びその周辺を拡大して示す 3 次元地図である。

[0194] 図 18 において、四角印は、交差点の北西の角に位置する位置検出装置 11 の真の現在位置を示している。三角印 61 は、観測された擬似距離、すなわち、受信ユニット 12 が出力した擬似距離をそのまま使用して測位計算を行った結果である。また、丸印 62 は、そこから、前記モデルによるマルチパス誤差 ε を算出し、該マルチパス誤差 ε により補正した擬似距離によって測位計算を行った結果である。20 秒間の結果であるため、三角印 61 及び丸印 62 とともに、測位計算を行った結果が複数存在する。三角印 61 よりも丸印 62 の方が真の現在位置に近いことが分かる。

[0195] このように、受信ユニット 12 が出力した擬似距離には、マルチパス誤差が含まれており、測位した 20 秒間の平均誤差は、13.7 [m] であった。ここからマルチパス誤差を補正した結果、20 秒間の平均誤差を 6.8 [m] まで低減することができた。

[0196] 次に、本実施の形態における第 2 の実験の結果について説明する。該第 2 の実験では、前記式（1）の解を求めて検出した位置を初期位置とし、該初期位置の周辺にランダムに設定した複数の探索点における擬似距離を算出し、該擬似距離に基づいて候補位置を選択し、前記初期位置との距離、及び、前回の位置からの移動距離という指標を用いて評価を行い尤度を定め、該尤度に基づいて加重平均を取ることによって現在位置を推定した点において、

前記第2の実施の形態と同様であるが、本実施の形態においては、前記式（19）又は（20）で表されるようなマルチパス誤差 ε を考慮する点で相違する。

[0197] 図19は本発明の第9の実施の形態における真の現在位置におけるレイトラシングの第1の例を示す図、図20は本発明の第9の実施の形態における候補位置の第1の例を示す図、図21は本発明の第9の実施の形態における真の現在位置におけるレイトラシングの第2の例を示す図、図22は本発明の第9の実施の形態における候補位置の第2の例を示す図である。なお、図20及び22において、（a）はマルチパス誤差 ε を考慮しない場合を示す図、（b）はマルチパス誤差 ε を考慮する場合を示す図である。

[0198] 図19には、第1の現在位置における測位衛星41からの電波伝播が示されている。なお、図19に示される地図は、図18と同一の交差点及びその周辺を示す3次元地図であって、四角印は、交差点の北東の角に位置する位置検出装置11の真の現在位置を示している。線45は、位置検出装置11の現在位置からの視野内にある測位衛星41からの電波伝播である直接パスを示し、線46は、構造物の表面で反射した前記測位衛星41からの電波伝播である反射パスを示している。図19では、直接パスを示す線45が4本であり、反射パスを示す線46も4本であるから、4つのすべての測位衛星41からの電波がマルチパスとなっていることが分かる。

[0199] マルチパス誤差 ε を考慮しない場合、正解座標、すなわち、真の現在位置において観測された擬似距離と3次元地図情報及びレイトラシング法に基づいて推定される擬似距離との差の平均は、2.1[m]となり、候補位置の分布は、図20（a）に示されるようになった。図20（a）及び（b）において、小さな複数の丸印65は尤度の低い候補位置、やや大きな複数の丸印64は尤度の高い候補位置、最も大きな単一の丸印63はすべての候補位置の加重平均、すなわち、推定結果である。該推定結果の誤差は、3.3[m]であった。

[0200] これに対し、マルチパス誤差 ε を考慮する場合、真の現在位置において観

測された擬似距離と3次元地図情報及びレイトレーシング法に基づいて推定される擬似距離との差の平均は、0.5[m]となり、候補位置の分布は、図20(b)に示されるようになった。そして、推定結果の誤差は、0.5[m]であった。マルチパス誤差 ε を考慮しない場合と比較して、推定結果の誤差が大きく低減された。

[0201] また、図21には、第2の現在位置における測位衛星41からの電波伝播が示されている。なお、図21に示される地図は、図18及び19と同一の交差点及びその周辺を示す3次元地図であって、四角印は、交差点の北西の角に位置する位置検出装置11の真の現在位置を示している。図19と同様に、線45は、位置検出装置11の現在位置からの視野内にある測位衛星41からの電波伝播である直接パスを示し、線46は、構造物の表面で反射した前記測位衛星41からの電波伝播である反射パスを示している。図21では、直接パスを示す線45が4本であり、反射パスを示す線46が3本であるから、4つのうちの3つの測位衛星41からの電波がマルチパスとなっていることが分かる。

[0202] マルチパス誤差 ε を考慮しない場合、真の現在位置において観測された擬似距離と3次元地図情報及びレイトレーシング法に基づいて推定される擬似距離との差の平均は、1.9[m]となり、候補位置の分布は、図22(a)に示されるようになった。そして、推定結果の誤差は、12.9[m]であった。

[0203] これに対し、マルチパス誤差 ε を考慮する場合、真の現在位置において観測された擬似距離と3次元地図情報及びレイトレーシング法に基づいて推定される擬似距離との差の平均は、1.5[m]となり、候補位置の分布は、図22(b)に示されるようになった。そして、推定結果の誤差は、2.3[m]であった。マルチパス誤差 ε を考慮しない場合と比較して、推定結果の誤差が大きく低減された。

[0204] なお、位置検出装置11の構成及びその他の点の動作については、前記第1及び第2の実施の形態と同様であるので、その説明を省略する。

[0205] 次に、本発明の第10の実施の形態について説明する。なお、第1～第9の実施の形態と同じ構造を有するものについては、同じ符号を付与することによってその説明を省略する。また、前記第1～第9の実施の形態と同じ動作及び同じ効果についても、その説明を省略する。

[0206] 本実施の形態においては、3次元地図情報のエラーの可能性、具体的には、構造物の壁面に対する垂線方向の位置エラーの可能性を考慮してポジショニングの計算を行う。つまり、構造物の外壁面の座標を前記垂線方向に変化させることによって、最小2乗法の残差、すなわち、誤差が小さくなる位置を探索し、この位置を構造物の外壁面の本来の座標であると推定する。位置検出装置11の現在位置の検出は、加重最小2乗法を用いて、前記式(1)のような擬似距離列の式の解を求めることによって行われるが、本実施の形態においては、その誤差が小さくなる位置を探索し、本来の位置であると推定する。

[0207] また、このようにして推定した結果を、エラー空間に投票することによって、エラー分布を作成することができる。この場合、位置検出装置11を使用する一人のユーザが複数回行った推定の結果を投票してもよいし、複数のユーザが各自の位置検出装置11を使用して行った推定の結果を投票してもよい。また、前記エラー分布に基づき、構造物の外壁面の座標について3次元地図情報の修正を行うようにすることもできる。

[0208] なお、本発明は前記実施の形態に限定されるものではなく、本発明の趣旨に基づいて種々変形させることが可能であり、それらを本発明の範囲から排除するものではない。

産業上の利用可能性

[0209] 本発明は、位置検出装置、位置検出システム及び位置検出方法に適用することができる。

符号の説明

[0210] 11 位置検出装置

12 受信ユニット

- 2 1 測位ユニット
- 2 2 位置算出部
- 2 3 周辺探索部
- 2 5 候補位置選択部
- 2 6 出力決定部
- 3 1 情報提供サーバ
- 4 1 測位衛星

請求の範囲

- [請求項1] 測位衛星からの衛星信号を受信し、該衛星信号に基づき、前記測位衛星までの擬似距離を算出する受信ユニットと、
- 該受信ユニットが算出した擬似距離に基づいて初期位置を算出し、3次元地図情報及びレイトラシング法を用いて前記初期位置の周辺の複数位置における前記測位衛星までの擬似距離を算出し、該擬似距離に基づいて前記複数位置のうちから候補位置を選択し、前記初期位置との距離が所定条件を満たす程度に小さい候補位置に基づいて現在位置を決定する測位ユニットとを有することを特徴とする位置検出装置。
- [請求項2] 前記複数位置は、前記初期位置の周囲に設定されたメッシュの格子点であり、
- 前記測位ユニットは、前記メッシュを設定し、該メッシュの格子点を探索点に設定し、各探索点から各測位衛星までの擬似距離であって、3次元地図情報とレイトラシング法とによって推定したNLOS反射パス遅延距離を含む探索点擬似距離を算出し、該探索点擬似距離に基づいて評価位置を算出し、該評価位置と前記初期位置との距離が閾値以下である探索点を候補位置として選択する請求項1に記載の位置検出装置。
- [請求項3] 前記測位ユニットは、選択した候補位置の周囲にメッシュを設定し、前記探索点の設定、前記探索点擬似距離の算出、前記評価位置の算出、及び、前記候補位置の選択を繰り返す請求項2に記載の位置検出装置。
- [請求項4] 前記測位ユニットは、選択した候補位置の数が所定数未満である場合、前記初期位置との距離が最小の候補位置を現在位置に決定し、選択した候補位置の数が前記所定数以上である場合、前記初期位置との距離が閾値以下の候補位置を再度選択し、再度選択した候補位置に対して前記初期位置との距離の逆数で重みを付けた平均値を算出して現

在位置を決定する請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項に記載の位置検出装置。

[請求項5] 前記複数位置は、前記初期位置の周囲にランダムに設定された位置であり、

前記測位ユニットは、前記複数位置を探索点に設定し、各探索点から各測位衛星までの擬似距離であって、3次元地図情報とレイトレーシング法とによって推定したNLOS反射パス遅延距離を含む探索点擬似距離を算出し、該探索点擬似距離に基づいて候補位置を選択し、該候補位置と前記初期位置との距離に基づく値を尤度とし、前記候補位置の尤度に応じた加重平均を現在位置と決定する請求項 1 に記載の位置検出装置。

[請求項6] 前記測位ユニットは、各探索点から各測位衛星までの擬似距離であって、3次元地図情報とレイトレーシング法とによって推定したNLOS反射パス遅延距離を含む探索点擬似距離を算出し、該探索点擬似距離の集合と、前記受信ユニットが算出した擬似距離の集合との類似度が高い探索点を候補位置として選択する請求項 1 に記載の位置検出装置。

[請求項7] 前記測位ユニットは、前記候補位置を選択する基準に、前記探索点擬似距離の集合と、前記受信ユニットが算出した擬似距離の集合との類似度を更に加える請求項 2 ～ 5 のいずれか 1 項に記載の位置検出装置。

[請求項8] 前記測位ユニットは、前記初期位置を算出する位置算出部と、前記複数位置を探索する周辺探索部と、前記候補位置を選択する候補位置選択部と、前記現在位置を決定する現在位置決定部とを備える請求項 1 ～ 7 のいずれか 1 項に記載の位置検出装置。

[請求項9] 前記測位衛星からの電波伝播が前記3次元地図情報に含まれる構造物のエッジを基準とした一定範囲を通過する場合、前記電波伝播がLOS及びNLOSの2つの場合を仮定して、双方において前記測位衛

星までの擬似距離を算出し、LOS又はNLOSのうちの尤もらしい方を選択する請求項1～8のいずれか1項に記載の位置検出装置。

[請求項10] 前記測位衛星からの電波伝播が前記3次元地図情報に含まれる構造物のエッジを基準とした一定範囲を通過する場合、前記エッジの存在位置に誤差モデルを仮定し、前記電波伝播がLOSである確率及びNLOSである確率を定義する請求項1～8のいずれか1項に記載の位置検出装置。

[請求項11] 前記測位衛星からの電波伝播が、前記3次元地図情報に含まれる構造物に反射する反射パスであると仮定したときと比較して、直接パスであると仮定したときの方が前記初期位置を算出する際の最小2乗法の残差が小さい場合には、前記構造物が存在しないと判定する請求項1～8のいずれか1項に記載の位置検出装置。

[請求項12] 前記構造物が存在しないとの判定が複数の位置検出装置によって行われた場合、前記判定を3次元地図情報に反映させる請求項11に記載の位置検出装置。

[請求項13] 前記測位衛星からの受信電力の強度が弱い場合、前記受信ユニットが備えるコリレータが出力する相関波の波形に基づき、前記測位衛星からの電波伝播がLOSであるかNLOSであるかを判定する請求項1～8のいずれか1項に記載の位置検出装置。

[請求項14] 前記相関波の左右対称性が高いときは、前記測位衛星からの電波伝播がLOSであって逆相マルチパスであると判定する請求項13に記載の位置検出装置。

[請求項15] 前記測位衛星からの受信電力の強度が強い場合、3次元地図情報及びレイトレーシング法を用いて前記測位衛星からの電波伝播がLOSであるかNLOSであるかを判定し、LOSであるときは、遅延を考慮して擬似距離を補正する請求項1～8のいずれか1項に記載の位置検出装置。

[請求項16] 遅延距離に応じたマルチパス誤差を算出し、該マルチパス誤差によ

って前記擬似距離を補正する請求項 15 に記載の位置検出装置。

[請求項17] 前記 3 次元地図情報に含まれる構造物の壁面に対する垂線方向の位置エラーの可能性を考慮し、前記壁面の座標を前記垂線方向に変化させ、最小 2 乗法の残差が小さくなる位置を探索し、該位置が前記壁面の位置であると推定する請求項 1 ～ 8 のいずれか 1 項に記載の位置検出装置。

[請求項18] 測位衛星からの衛星信号を受信し、該衛星信号に基づき、前記測位衛星までの擬似距離を算出する受信ユニットを備える位置検出装置と、

該位置検出装置と通信可能に接続されたサーバとを有する位置検出システムであって、

前記サーバは、受信ユニットが算出した擬似距離に基づいて初期位置を算出し、3 次元地図情報及びレイトレーシング法を用いて前記初期位置の周辺の複数位置における前記測位衛星までの擬似距離を算出し、該擬似距離に基づいて前記複数位置のうちから候補位置を選択し、前記初期位置との距離が所定条件を満たす程度に小さい候補位置に基づいて現在位置を決定する測位ユニットとを備え、決定した現在位置を前記位置検出装置に送信することを特徴とする位置検出システム。

[請求項19] 測位衛星からの衛星信号を受信し、
該衛星信号に基づき、前記測位衛星までの擬似距離を算出し、
該擬似距離に基づいて初期位置を算出し、
3 次元地図情報及びレイトレーシング法を用いて前記初期位置の周辺の複数位置における前記測位衛星までの擬似距離を算出し、
該擬似距離に基づいて前記複数位置のうちから候補位置を選択し、
前記初期位置との距離が所定条件を満たす程度に小さい候補位置に基づいて現在位置を決定することを特徴とする位置検出方法。

[請求項20] 測位衛星からの衛星信号を受信し、該衛星信号に基づき、前記測位

衛星までの擬似距離を算出する受信ユニットと、

3次元地図情報及びレイトレーシング法を用い、前記測位衛星からの電波伝播がLOSであるかNLOSであるかを判定し、LOSである場合には直接パス及び反射パスの両方を含むマルチパスであるか否かを判定し、マルチパスであるときには前記受信ユニットが算出した擬似距離を前記反射パスの遅延を考慮して補正し、補正した擬似距離に基づいて現在位置を決定する測位ユニットとを有することを特徴とする位置検出装置。

[請求項21] 前記測位ユニットは、前記反射パスの遅延距離に応じたマルチパス誤差を算出し、該マルチパス誤差によって前記擬似距離を補正する請求項20に記載の位置検出装置。

[請求項22] 前記マルチパス誤差は、前記受信ユニットが備えるコリレータの特性に応じて設定されたモデルに基づいて算出される請求項21に記載の位置検出装置。

[請求項23] 前記測位ユニットは、前記測位衛星からの電波伝播がLOSである場合には、前記受信ユニットが備えるコリレータが出力する相関波の波形に基づいてマルチパスであるか否かを判定する請求項20～22のいずれか1項に記載の位置検出装置。

[請求項24] 前記測位ユニットは、前記受信ユニットが算出した擬似距離に基づいて初期位置を算出し、3次元地図情報及びレイトレーシング法を用いて前記初期位置の周辺の複数位置における前記測位衛星までの擬似距離を算出し、該擬似距離に基づいて前記複数位置のうちから候補位置を選択し、前記初期位置との距離が所定条件を満たす程度に小さい候補位置に基づいて現在位置を決定する請求項20に記載の位置検出装置。

[請求項25] 前記複数位置は、前記初期位置の周囲に設定されたメッシュの格子点であり、

前記測位ユニットは、前記メッシュを設定し、該メッシュの格子点

を探索点に設定し、各探索点から各測位衛星までの擬似距離であって、3次元地図情報とレイトレーシング法とによって推定したNLOS反射パス遅延距離を含む探索点擬似距離を算出し、該探索点擬似距離に基づいて評価位置を算出し、該評価位置と前記初期位置との距離が閾値以下である探索点を候補位置として選択する請求項24に記載の位置検出装置。

[請求項26] 前記測位ユニットは、選択した候補位置の周囲にメッシュを設定し、前記探索点の設定、前記探索点擬似距離の算出、前記評価位置の算出、及び、前記候補位置の選択を繰り返す請求項25に記載の位置検出装置。

[請求項27] 前記測位ユニットは、選択した候補位置の数が所定数未満である場合、前記初期位置との距離が最小の候補位置を現在位置に決定し、選択した候補位置の数が前記所定数以上である場合、前記初期位置との距離が閾値以下の候補位置を再度選択し、再度選択した候補位置に対して前記初期位置との距離の逆数で重みを付けた平均値を算出して現在位置を決定する請求項24～26のいずれか1項に記載の位置検出装置。

[請求項28] 前記複数位置は、前記初期位置の周囲にランダムに設定された位置であり、

前記測位ユニットは、前記複数位置を探索点に設定し、各探索点から各測位衛星までの擬似距離であって、3次元地図情報とレイトレーシング法とによって推定したNLOS反射パス遅延距離を含む探索点擬似距離を算出し、該探索点擬似距離に基づいて候補位置を選択し、該候補位置と前記初期位置との距離に基づく値を尤度とし、前記候補位置の尤度に応じた加重平均を現在位置と決定する請求項24に記載の位置検出装置。

[請求項29] 前記測位ユニットは、各探索点から各測位衛星までの擬似距離であって、3次元地図情報とレイトレーシング法とによって推定したNL

OS 反射パス遅延距離を含む探索点擬似距離を算出し、該探索点擬似距離の集合と、前記受信ユニットが算出した擬似距離の集合との類似度が高い探索点を候補位置として選択する請求項 24 に記載の位置検出装置。

[請求項30] 前記測位ユニットは、前記候補位置を選択する基準に、前記探索点擬似距離の集合と、前記受信ユニットが算出した擬似距離の集合との類似度を更に加える請求項 25～28 のいずれか 1 項に記載の位置検出装置。

[請求項31] 前記測位ユニットは、前記初期位置を算出する位置算出部と、前記複数位置を探索する周辺探索部と、前記候補位置を選択する候補位置選択部と、前記現在位置を決定する現在位置決定部とを備える請求項 24～30 のいずれか 1 項に記載の位置検出装置。

[請求項32] 前記 3 次元地図情報に含まれる構造物の壁面に対する垂線方向の位置エラーの可能性を考慮し、前記壁面の座標を前記垂線方向に変化させ、最小 2 乗法の残差が小さくなる位置を探索し、該位置が前記壁面の位置であると推定する請求項 20～31 のいずれか 1 項に記載の位置検出装置。

[請求項33] 前記測位衛星からの電波伝播が前記 3 次元地図情報に含まれる構造物のエッジを基準とした一定範囲を通過する場合、前記電波伝播が LOS 及び NLOS の 2 つの場合を仮定して、双方において前記測位衛星までの擬似距離を算出し、LOS 又は NLOS のうちの尤もらしい方を選択する請求項 20～31 のいずれか 1 項に記載の位置検出装置。

[請求項34] 前記測位衛星からの電波伝播が前記 3 次元地図情報に含まれる構造物のエッジを基準とした一定範囲を通過する場合、前記エッジの存在位置に誤差モデルを仮定し、前記電波伝播が LOS である確率及び NLOS である確率を定義する請求項 20～31 のいずれか 1 項に記載の位置検出装置。

[請求項35] 前記測位衛星からの電波伝播が、前記3次元地図情報に含まれる構造物に反射する反射パスであると仮定したときと比較して、直接パスであると仮定したときの方が前記初期位置を算出する際の最小2乗法の残差が小さい場合には、前記構造物が存在しないと判定する請求項20～31のいずれか1項に記載の位置検出装置。

[請求項36] 前記構造物が存在しないとの判定が複数の位置検出装置によって行われた場合、前記判定を3次元地図情報に反映させる請求項35に記載の位置検出装置。

[請求項37] 測位衛星からの衛星信号を受信し、該衛星信号に基づき、前記測位衛星までの擬似距離を算出する受信ユニットを備える位置検出装置と、

該位置検出装置と通信可能に接続されたサーバとを有する位置検出システムであって、

前記サーバは、3次元地図情報及びレイトレーシング法を用い、前記測位衛星からの電波伝播がLOSであるかNLOSであるかを判定し、LOSである場合には直接パス及び反射パスの両方を含むマルチパスであるか否かを判定し、マルチパスであるときには前記受信ユニットが算出した擬似距離を遅延を考慮して補正し、補正した擬似距離に基づいて現在位置を決定する測位ユニットを備え、決定した現在位置を前記位置検出装置に送信することを特徴とする位置検出システム。

[請求項38] 測位衛星からの衛星信号を受信し、
該衛星信号に基づき、前記測位衛星までの擬似距離を算出し、
3次元地図情報及びレイトレーシング法を用い、
前記測位衛星からの電波伝播がLOSであるかNLOSであるかを判定し、

LOSである場合には直接パス及び反射パスの両方を含むマルチパスであるか否かを判定し、

マルチパスであるときには前記受信ユニットが算出した擬似距離を遅延を考慮して補正し、

補正した擬似距離に基づいて現在位置を決定することを特徴とする位置検出方法。