

令和 2 年 6 月 18 日現在

機関番号：32682

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K20905

研究課題名(和文) 単体で市街地移動ロボットの走行制御に必要な精度を実現するGNSS測位

研究課題名(英文) GNSS Positioning without using Additional Sensors for Mobile Robot in Urban Environment

研究代表者

渡辺 敦志 (Watanabe, Atsushi)

明治大学・研究・知財戦略機構(生田)・研究推進員(客員研究員)

研究者番号：50743746

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円

研究成果の概要(和文)：GPSをはじめとするGlobal Navigation Satellite Systemは、建物など電波の反射・回折により位置精度が大幅に悪化するため、移動ロボットの走行制御のような位置の精度が常に必要な用途での使用が難しかった。本研究では、衛星信号から、電波の遮蔽状況を推定して弁別することで、受信機単独で反射・回折の影響を受けにくい測位手法の研究を行った。これを実現するため、衛星信号の受信によって得られる疑似距離の時系列データに対して、受信機の過去の移動軌跡を複数仮定し、整合性を逐次評価することで、遮蔽や反射による不整合を検出し、衛星の遮蔽状態の弁別と位置の推定を同時に行う手法を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、建物などによる電波の反射・回折によるGNSSの測位精度悪化に対して、疑似距離の時系列データに対して、受信機の過去の移動軌跡を複数仮定して幾何的な不整合を検出すること、既存の画像処理を用いた衛星の遮蔽検出を行う手法を、GNSS受信機のみで実現できることを示した。本研究成果を発展させることで、電波の反射・回折の影響を受けやすい、市街地などの環境における移動ロボットの位置推定を容易にすることが可能と考えられる。

研究成果の概要(英文)：The accuracy of the Global Navigation Satellite System (including GPS) is affected by the reflection and diffraction of radio waves by buildings. It was not easy to use GNSS-based location directly in mobile robot applications that require constant positional accuracy. In this study, we proposed a new method to distinguish the satellites' visibility only from satellite signals. The proposed method estimates receiver location by assuming multiple receiver trajectories, sequentially evaluating geometric consistency, and rejecting inconsistent assumptions. The proposed method was implemented and tested by the experiment at Tsukuba Challenge 2019.

研究分野：ロボット工学

キーワード：GNSS 衛星測位 ロボット自己位置推定

## 1. 研究開始当初の背景

屋外で作業を行う自律移動ロボットシステムの自己位置同定において、つくばチャレンジや DARPA Ground Challenge、Google Car など実世界で動作するロボットの走行制御には、GPSをはじめとする Global Navigation Satellite System (GNSS) は、ほとんど使用されていない。これらのロボットの多くは、レーザセンサで測定した周辺の形状と、ロボット用の形状地図をマッチングすることで自己位置を同定するため、あらかじめロボット用地図を作成しないと動作しない。もし、より多くの場所で、GNSS によってロボット制御に必要な精度の位置同定ができれば、これらのロボットの活動可能範囲が大幅に広げられる。

GNSS がこれらのロボットで使用されないのは、特に市街地の建物の近くなどで、位置精度が大幅に悪化するためである。図 1 に示すように、建物周辺では、GNSS は人工衛星からの電波の到達時間から距離を求めて地球上の絶対位置を計算するため、電波の反射・回折(マルチパス)により距離が誤って測定され、位置の計算に数メートル～数十メートルオーダーの大きな誤差が発生する。

この問題に対して、衛星が建物に遮蔽されていないか画像処理で判断する手法[1]により、ロボット制御に使える、RMS 誤差 0.3m の位置精度を実現できている。また、同様の判別を、建物の高さの地図から判断する手法[2]も提案されている。前者はロボット最上部にカメラが必要なため、アプリケーションに応じて必要な機器の設置場所に制約が発生する。また後者は、走行する場所の正確な 3 次元地図が必要であり、あらかじめ作成しておかないと動作しない。すなわち、外付けのセンサを用いずに、市街地などで高精度な位置を測定可能な GNSS の測位計算手法は、きわめて重要でありながら未だ実現されていない問題であった。

## 2. 研究の目的

図 1 に示すように、建物などの壁による電波の反射や回折により電波の伝搬距離が長くなる。従来の GNSS 測位計算においては、衛星からの電波の伝搬距離(擬似距離)から、最小二乗法などのアプローチで位置を計算しているため、特に電波の反射によって擬似距離が長くなり、幾何拘束に矛盾が発生すると、真値から大きく外れた位置が求まる。すなわち、擬似距離の誤差は必ず距離が長くなる方向に分布するにもかかわらず、最小二乗法などの等方性誤差を仮定した手法で計算しており、誤差の異方性を考慮していないことが、マルチパス問題の根源である。

そこで本研究では、多数の解の仮定をたて、受信した信号との矛盾を評価して解を絞り込むことにより、誤差の等方性を仮定せずに測位計算を行うことで、GNSS アンテナ以外のセンサを用いず、機器単独でマルチパスの影響を受けない高精度な測位信号処理を実現することを目的とした。

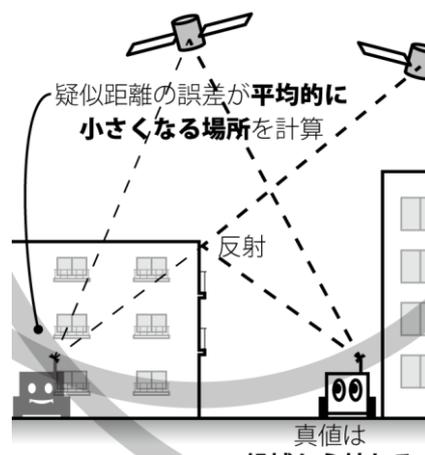


図 1 マルチパスによる GNSS の誤差発生メカニズム

### 3. 研究の方法

本研究では当初、以下に示すように、衛星の疑似距離から幾何的な誤差の異方性を考慮した拘束により、候補範囲を絞り込み衛星を弁別する手法を主に研究する計画であった。

当初考案した手法は、衛星から光速で伝搬する GNSS 信号の疑似距離は、マルチパスなどの誤差原因により、真値より長くなることを利用する。すなわち、図 2 に示すように、真の位置は、各衛星位置から、外周を疑似距離とする帯状の領域内に入る。この帯状の領域を全衛星について求め、積領域を求めれば、真値を必ず含む、位置候補範囲が求まる。遮蔽されていない衛星を弁別できると考えた。

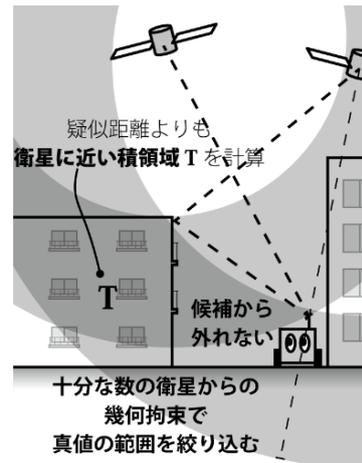


図 2 誤差の異方性を考慮した位置候補範囲の計算

しかし衛星測位においては、受信位置と時刻を同時に推定する必要があるため、時刻の誤差によって、図 2 における領域の内側の境界が一意に定まらないため、幾何的に位置候補範囲を絞り込むことができない事がわかった。そこで2年度

目からは、モンテカルロ法的一种であるパーティクルフィルタと、衛星信号の受信によって得られる疑似距離の時系列データを用いる手法に研究の方針を変更することとなった。

新たに考案した手法は、衛星信号の受信によって得られる疑似距離の時系列データを用い、GNSS 受信機の過去の移動軌跡を複数仮定し、GNSS の信号との整合性を逐次評価することで、建物等による電波の遮蔽や反射による不整合を検出し、衛星の遮蔽状態の弁別と位置の推定を同時に行う。

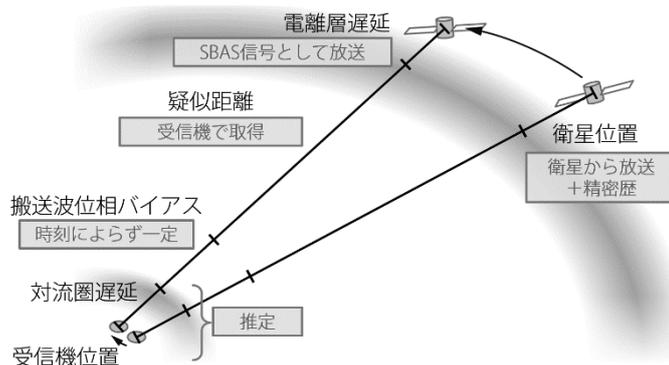


図 3 GNSS 測位における誤差要因と推定すべきパラメータ

GNSS 測位において衛星から受信機までの距離を計算するために必要なパラメータとしては、図 3

に示すように、疑似距離、搬送波位相バイアス、衛星の位置、大気上層にある電離層における遅延、大気の地表近くにある対流圏における遅延があげられる。このうち、疑似距離は衛星信号を受信することで得られ、衛星位置・電離層遅延量は、衛星からの放送データや衛星精密歴配信サービスなどから得られる。受信機位置と対流圏遅延量を推定対象としたとき、推定が正しければ、搬送波位相バイアスは衛星が公転運動で移動しても一定に保たれるはずである。

受信機位置の軌跡と対流圏遅延量を多数仮定しておき、それぞれの仮定ごとに搬送波位相バイアスの推移を計算すると、電波が遮蔽・反射されて幾何的な整合性がとれなくなった衛星は搬送波位相バイアスが一定でなくなるため、これを検出することができる。本手法では、整合性がとれない仮定を棄却し、整合性がとれた仮定の周辺に仮定を置き直す計算を繰り返す、いわゆるパーティクルフィルタの計算を行うことで、衛星信号のみを用いて、マルチパスの影響を受けた衛星を弁別することが可能となる。

## 4. 研究成果

提案した手法の効果を確かめるため、移動ロボット内界センサのデータと GNSS のデータを、取得時刻と関連付けて容易に記録するため、ROS (Robot Operating System) 上でシステムを構築した。受信機から得られる、RTCM3 プロトコルのデータストリームを ROS のデータに変換するプログラムについては、オープンソースソフトウェアとして GitHub で公開した ([https://github.com/at-wat/rbcm3\\_ros](https://github.com/at-wat/rbcm3_ros))。

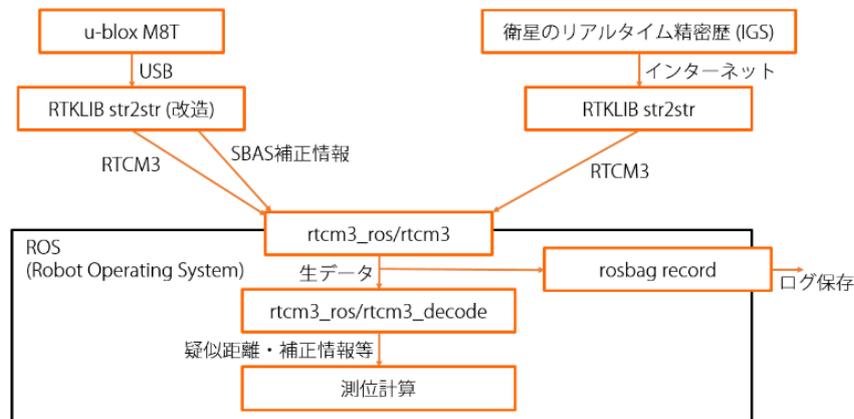


図 4 構築したシステムのソフトウェア構成

これらを用いて、提案した過去の移動軌跡を用いた GNSS 精密単独測位手法を実装し、実際に取得したデータに適用して効果を確認した。構築したシステムのソフトウェア構成を、図 4 に示す。なお、データは 1 周波受信機を用いて取得し、電離層遅延量は SBAS 衛星から放送されている補正データを現地で受信して用いた。

実験では、静置した受信機で得たデータを、構築したシステムに適用して測位結果を確認した。また、絶対精度を確認するため、測量でアンテナ位置を求めた結果と比較した。提案手法における測位計算は、モバイル向け CPU である Intel Core i7-7Y75 を搭載するノート型 PC で行った。

このデータをもとに構築したシステムで測位計算を行った際の、受信機位置の仮定 (パーティクル) の分布を、東を  $x$ 、北を  $y$  としてプロットした結果を図 5 に示す。約 40 分でパーティクルの分布が概ね収束し、 $x, y$  座標の絶対精度は約 1 m となった。その際の最尤パーティクル (仮定の中で最も尤もらしいもの) の状態における、各衛星の信号から求めた搬送波位相バイアスの遷移を図 7 に示す。

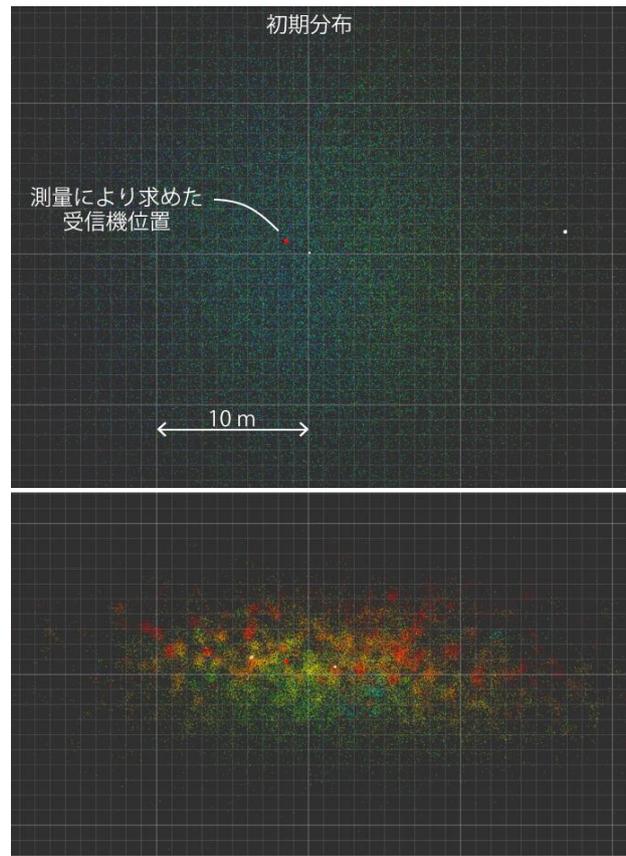


図 5 提案システムにおける、測位の収束の様子 (次項に続く)

この結果から、40分にわたって4衛星の搬送波位相バイアスの変動が20cm以下となっており、幾何的な整合性がとれた受信機位置が推定できていることが確認できた。

また、この測位計算は、実時間の5倍程度の速度で実行することができた。ここから、本提案手法は、十分に実用的な計算量で実現できることが確認できた。

本研究では、当初提案していた手法が実現できないことが実施途中でわかり、研究の進捗が遅れ、研究期間を延長することになったものの、誤差の等方性を仮定せずに測位計算を行うことで、GNSSアンテナ以外のセンサを用いず、機器単独でマルチパスの影響を受けにくい、これまでにないロバストなGNSS測位信号処理の手法を提案した。また、その基本的な効果を実験によって確かめることができた。

今後は、構築した推定系を基に、受信機の移動も考慮した測位が行えるように拡張することで、本研究の成果を実用化できると考えられる。

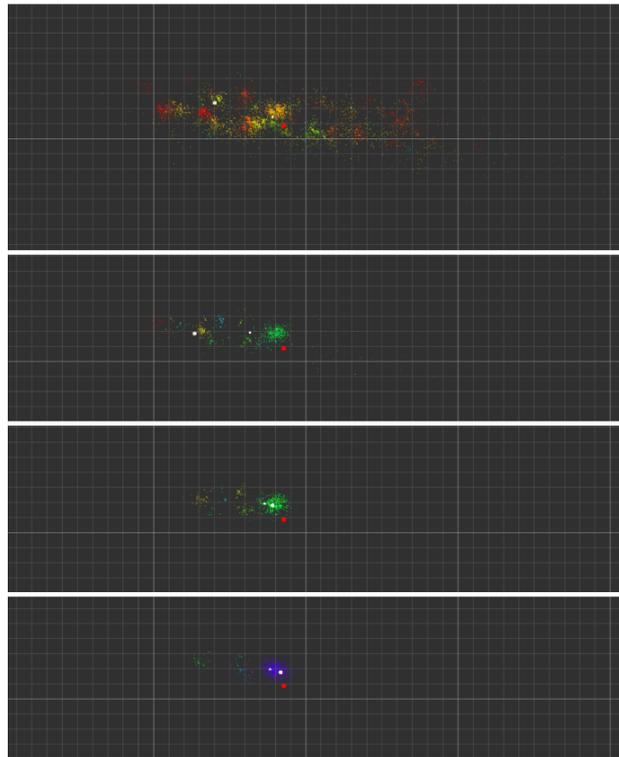


図 6 提案システムにおける、測位の収束の様子

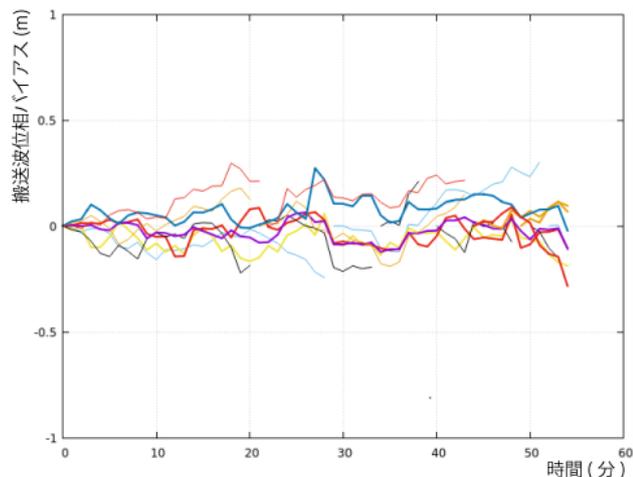


図 7 最尤パーティクルにおける、衛星ごとの搬送波位相バイアスの遷移

## 参考文献

- [1] 鈴木 太郎, 北村 光教, 天野 嘉春, 橋詰 匠, "GNSS マルチパス波判別を複合した精密単独測位による屋外移動ロボットの位置推定", 計測自動制御学会論文集, VOL. 48, (7), pp. 399-405, 2012
- [2] S. MIURA AND S. KAMIJO. "GPS ERROR CORRECTION BY MULTIPATH ADAPTATION." INTERNATIONAL JOURNAL OF INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS RESEARCH, VOL. 13 (1), pp. 1-8, 2015

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 渡辺敦志
2. 発表標題 GNSS 精密単独測位をベースとした屋外自律移動に向けたつくばチャレンジ環境におけるデータ収集
3. 学会等名 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡辺敦志
2. 発表標題 過去の移動軌跡を用いたGNSS精密単独測位手法とそれを用いた屋外自律移動システムの開発
3. 学会等名 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考