

令和 2 年 7 月 3 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06248

研究課題名(和文) 衛星測位における受信状況不良衛星の弁別に関する研究

研究課題名(英文) Discrimination of ill-conditioned satellites in GNSS positioning

研究代表者

坪内 孝司 (Tsubouchi, Takashi)

筑波大学・システム情報系・教授

研究者番号：80192649

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、 $n$ 個の測位衛星からの受信情報から $m$ ( $\leq n$ )個の衛星を利用する測位解を、その組み合わせの数だけ計算し、その測位解のなかからより確からしい測位解を選別することで、その計算に用いられなかった測位衛星からの電波が、多重反射などの影響を受けたものとするを提案した。そのような測位解の選別のため、受信機を移動体に搭載し、移動体のオドメトリによる自己位置との比較を行った。その測位解と、オドメトリによる自己位置とで自己位置の補正を行うカルマンフィルタ適用の枠組みも提案した。実験の結果、期待通りの結果を得る場合と得られない場合があり、その理由についてさらに精査をしてゆく必要があることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

全地球測位システムで測位を行う際、衛星からの電波がマルチパスの影響を受ける場所では測位解に大きな誤差を生むことがわかっているが、受信機自身ではそれを検出できる有効な方策はほとんどないことが知られている。それを回避するために、天球を向けたカメラによる不可視衛星検出などの試みがあるが、本研究はそのようなカメラを用いずにマルチパスの影響による誤差の有無を検出する手法を提案したことで、そのような誤差検出が可能になる方法論の一つを提案したことに意義がある。

研究成果の概要(英文)：In this research, we calculate the positioning solutions in all combinations that use any  $m$  from 4 to  $n$  satellites from the received information from  $n$  received positioning satellites, and calculate a more reliable positioning solution from the positioning solutions. We proposed that the radio waves from the positioning satellites, which were not used in the calculation, were affected by multiple reflections by selecting them. In order to select such positioning solutions, we installed a receiver on the mobile robot and compared it with the self-position based on the odometry of the mobile robot. We also proposed a framework for applying the Kalman filter that corrects the self-position by using the positioning solution and the self-position by odometry. As a result of the experiment, it was found that the expected result may or may not be obtained, and it is necessary to further examine the reason.

研究分野：自律移動ロボット学

キーワード：GNSS 移動ロボット マルチパス 測位誤差 カルマンフィルタ

## 1. 研究開始当初の背景

米国の GPS に代表される全地球測位システム (GNSS) は、現在において、手軽に地球上の位置情報が得られるという点で社会的にみても重要なインフラである。スマートフォンにもこのシステムを利用した測位システムが搭載されており、登録した相手先がどこにいるかを知ることができたり、地図を用いた道案内ができたりするなど、生活にも必要な機能が実現されている。

しかしながら、GNSS 測位は各測位衛星からの電波信号が受信機に直達する、という仮定のもとで測位計算が行われるために、建物などの構造物が多く、天空があまり開けていない場所での測位誤差が大きくなることが知られている。すなわち、都市部のビルの谷間では、測位誤差が大きくなることが知られている。この理由は、原理的に測位衛星から発された電波の受信器への到達時間を測位計算に用いるため、電波の実効的な行路長が測位精度を左右するからである。受信機の近くに建物などの構造物があると、それによって直達する電波が遮られるにも関わらず、その電波が別の構造物により反射されて受信機により受信できず、直達するときの行路長よりも長い行路長により測位が行われるために測位誤差が増大するのである。このような場合の測位誤差は m オーダにもおよぶことがある。

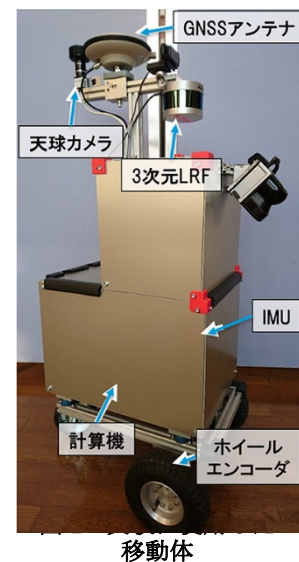
このように受信機と衛星の間に建物などの構造物があり、衛星から直達した電波は受信できない衛星を不可視衛星 (Non-Line-of-Sight Satellite) と呼ぶ。本研究では、この不可視衛星からの電波信号が多重反射等で受信できている場合に、これを受信可能不可視衛星とし、この衛星からの電波受信が不良な受信状況であるとみなしている。そして、不良でない衛星からの受信信号による情報を用いて測位計算を行いたいことが趣旨となる。すなわち、一般に、受信機内部の処理だけでは、受信可能不可視衛星からの信号と可視衛星から受信された衛星の信号を区別することは困難である。測位のためには同時に複数の測位衛星からの信号を受信することになるが、それらの信号のうち、受信可能不可視衛星を特定できれば測位計算の際にそれらからの信号による情報を取り除くことで測位解の誤差が低減できることが期待される。従来、このような不可視衛星の検出には、天空に向けた超広角カメラによる空と建物の識別画像を用い、そこに受信できた衛星の軌道情報から推定される衛星の方位と天頂角から建物と重なる衛星を不可視衛星とし、この衛星の情報を測位計算に用いない、とする手法が例としてよく採用されてきた。この手法では、カメラなどで得られた不可視衛星情報を受信機側の測位計算処理に戻さなくてはならず、受信機単独で処理を行おうとするには難があった。

## 2. 研究の目的

本研究では、受信機により受信された測位衛星の受信情報より、可視衛星からの受信情報と受信可能不可視衛星からの受信情報を弁別すること、ならびに弁別の結果に基づき測位誤差を軽減すること、を目的とした。ただし、従来手法のように、カメラなどにより得た外界情報により衛星の不可視性を直接判断することはせず、受信機側での測位計算に基づき、先見的にも受信機の位置情報を利用するのみで受信状況が不良である、すなわち受信可能な不可視衛星を弁別することはできないか、という問いのもとで研究を行った。

## 3. 研究の方法

前項の目的を達するため、図 1 に示す実験機材を用意した。すなわち、GNSS 受信機とアンテナ一式、および GNSS 受信機から出力されるすべての受信情報を記憶する計算機を搭載した移動体 (移動ロボット) を準備した。移動体の動輪にはホイールエンコーダを取り付け、このエンコーダによって計測された左右動輪の回転数の積分を前述の計算機により実行 (オドメトリ) して、自己位置を時々刻々求めた。このオドメトリにより計算された自己位置を前項で述べた先見的自己位置とした。なお、測位誤差の検定を行うためには、GNSS による測位計算値、およびオドメトリによる測位計算値によらない自己位置の検定手段も用意しなくてはならない。そのために、移動体には 3 次元の走査型レーザ距離計 (LRF) を搭載し、周囲の建物形状を利用して AMCL による測位手法も実装し、これをリファレンスにした。一方、実験上、受信した衛星信号が可視衛星のものであるか、受信可能不可視衛星のものであるかも確認できなくてはならない。そこで、超広角カメラを用意し、その光軸を天空 (鉛直上方) にむけて移動体に設置した。以上により、1. GNSS 受信機から出力される全受信情報、2. オドメトリによる自己位置、3. LRF と AMCL 手法に基づく独立した自己位置推定計算、4. 天空に向けたカメラによる画像、を移動体に搭載した計



算機にて連続的に取得できるようにした。なお、計算機がそれぞれの情報を取得し記憶するときは、計算機内の時計によるタイムスタンプとともに記録した。これは、取得した全情報をもちい、後処理によって測位値を検証する際に時刻同期をとるためである。

次に、本学構内の様々な移動ルートにて、この移動体を移動させ、前述の4種類の情報を収集してこれを移動体上の計算機に記憶した。移動コースは次項で示す。記憶した情報を研究室に持ち帰り、

後処理により提案した手法に基づく計算処理を行って検討を行った。提案手法のアイデアの概念を図2に示す。このアイデアは次の通りである。すなわち、受信機において、 $n$ 個の衛星からの電波が受信できたとき、そのなかから4個以上 $n$ 個をとる組み合わせについてそれぞれ測位計算を行い、これと先見的な知識にもとづく移動体の自己位置に近い測位値を調べる。この自己位置に近い測位値を計算する受信衛星の組み合わせでは用いられなかった衛星の情報で、かつ、その衛星の情報を用いるとその自己位置から離れたところに測位解を生む衛星は、不良な受信状態を与える衛星である可能性が高いとみなす。したがって、この先験的な自己位置の近傍にあるいくつかの測位解の計算で用いられていない共通の衛星は、不良な受信状態を与えるものとみなす。また、この近傍にある測位解と先験的自己位置の間でカルマンフィルタリングを行った位置を、本手法で計算した測位解とした。

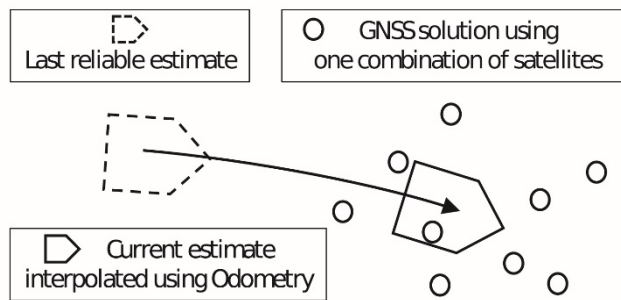


図2 提案手法のアイデア

#### 4. 研究成果

図3に移動体を動かした場所のマップを示す。本学構内で移動体が移動できる遊歩道または歩道上を移動させている。図4には、提案手法による測位解の様子を示している。図4では特にRoute3の場合を示している。このRoute3は、通行する通路の両脇に建物があり、不可視な衛星が多重反射により受信されることが多い環境である。図4において、○印はリファレンスとしてのAMCLによる測位解である。AMCLは周囲の建物をランドマークとし、独立して自己位置を追跡する能力がある手法である。AMCLによる自己位置は連続的になめらかな軌跡となっており、移動体の位置をよく表していると考えられる。一方、△印は、受信されたすべての衛星からの信号による情報を用いてRTK測位計算を行った結果である。図4を観察するとわかるように、△印の測位値は、所々で大きなジャンプがあり、AMCLによる軌跡から大きく逸脱する場所があることがわかる。これは、受信可能な不可視衛星の存在により行路長が実際より長くなる衛星情報が存在し、結果として測位解に大きな誤差を含んだことが強く示唆される現象である。図4の□印は、本研究の提案手法による測位解である。図4から読み取れるように、受信されたすべての衛星情報を用いてRTK測位計算を行った△の測位値に比べて測位解が大きくジャンプする場所が減少していることが観察されている。しかし、まだジャンプする場所も残っており、不良な受信状態をもっている衛星が弁別できて程よい測位解が得られた場所と、そうでない場所がまだ残っていることがわかる。この弁別については、まだアルゴリズムに検討の余地があり、研究期間終了後もその検討を継続している。

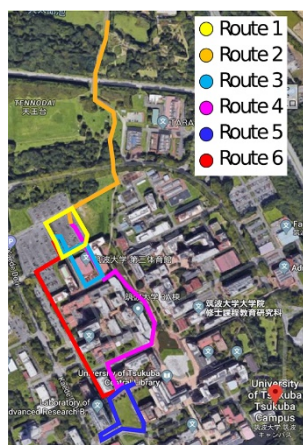


図3 移動コース

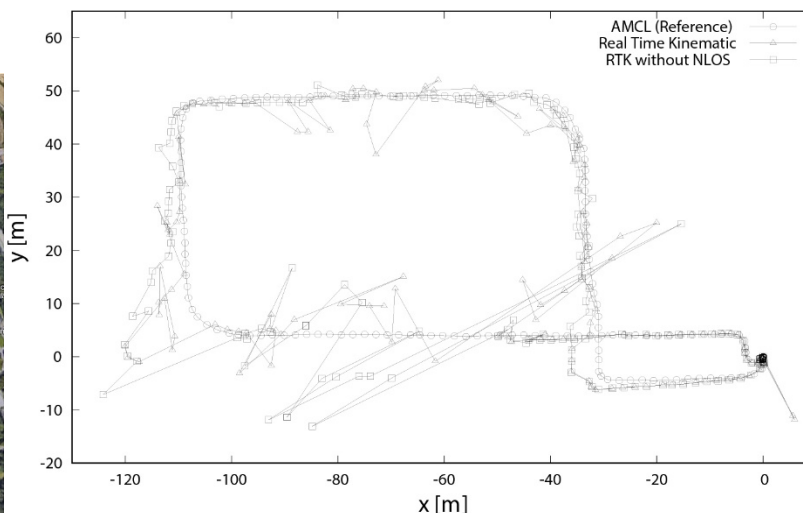


図4 測位解の様子

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 渡邊 涼, 坪内 孝司, 原 祥堯
2. 発表標題 GNSS 搬送波位相測位における観測データのみを用いた信頼性判別
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2017予稿集
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 内糸春樹, 坪内孝司, 大矢晃久
2. 発表標題 GNSS測位時の衛星選択による複数測位解を別測位手段により検定する不可視衛星推定
3. 学会等名 第25回ロボティクスシンポジア
4. 発表年 2020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
研究分担者	伊達 央  (Date Hisashi)  (50531985)	筑波大学・システム情報系・准教授    (12102)	