

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 5 月 28 日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K06532

研究課題名(和文) 複数アンテナと3D建物情報を利用したGNSSによる移動体精密位置決定の研究

研究課題名(英文) Study on GNSS precise positioning of moving platform using multiple antennas and 3D building model

研究代表者

久保 信明 (Kubo, Nobuaki)

東京海洋大学・学術研究院・教授

研究者番号：80343169

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：複数アンテナによる精度向上手法については2017年にかけて実施し、所定の性能を得ることができた。複数アンテナへの入力信号を切り替える必要があるため、搬送波位相測位の連続性という観点で難があった。精度改善では、特に強い反射波を受信する状況で効果が見られた。

2017年から2019年にかけて、3D建物地図支援によるGNSSの高精度測位技術開発を実施した。市販3D地図を利用したGNSSシミュレーションソフトで、RTKの性能を実データ結果と比較して80%程度予測することが可能となった。シミュレーション時に、数cmの精密位置でなく数mの精度の位置でもシミュレーションの妥当性を確認することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今後の自動運転等を見越したとき、衛星測位による位置精度がどのくらい変化するかや、どの程度の精度が担保できるかをシミュレーションである程度知れることは、衛星測位を実際に利用する場合極めて重要である。時々刻々変化する位置精度を、実データで検証することも大事だが、シミュレーション上で、この時刻のこの道路では、どのくらいの性能が得られる、ということ事前に確度高く知れると、効率的に技術開発を進めることができる。また3D地図による誤差の大きい衛星検知において、シミュレーション時のアンテナ位置を精密位置にしなくとも、ある程度性能を発揮できることがわかったことも、本分野への寄与が大きかったと考える。

研究成果の概要(英文)：Accuracy improvement of GNSS using multiple antennas was implemented in 2017, and we were able to obtain the desired performance. Since it is necessary to switch input signals to multiple antennas, there is an issue in terms of continuity of carrier phase tracking. The accuracy improvement was particularly effective in the situation where a strong reflected signal was received.

From 2017 to 2019, we have developed GNSS positioning simulation software with 3D building map. With the GNSS simulation software uses a commercially available 3D map, we found that we could predict RTK performance about 80 % level compared with the real RTK performance using GNSS observation data. In the simulation, it was confirmed that simulation did not require cm level true positions for radio propagation simulation. Even several meters errors of antenna can be allowed to simulate GNSS signals to some degree.

研究分野：衛星測位

キーワード：GNSS RTK マルチパス 3D地図 複数アンテナ

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

自律型移動体は、自動車だけでなく農業機械や災害時のロボット等への利用も強く期待されており、それら移動体の位置精度の信頼性を高めておくことが重要である。現在 **RTK** (Real Time Kinematic) と呼ばれる測位衛星による高精度位置決定技術を利用すると、自動車位置の水平精度は数 cm である。上空の開けた場所では、100%の利便性で数 cm の解を出せるが、上空視界の悪い都市部では、その利便性が 30%以下に低下していた。近年測位衛星数の増加により、新宿等の超高層ビル街を除いて、都市部中層ビル街でも 80%以上の利便性が得られている。ただし、50cm 以上の誤差の位置結果（位置飛び）が混ざることがあり、その回数が多いと他センサとカルマンフィルタで融合しても完全に排除できない。高精度 IMU (Inertial Measurement Unit) 等を利用するとこの問題は解消されるが、自動車に利用できる市販レベルの IMU で達成することは困難である。

申請者はこれまで、測位衛星からの瞬時観測データの品質を厳しくチェックすることにより、位置飛びを削減してきたが、その手法では限界があった。申請者は H27 年度にアンテナを意図的に動かすことにより、RTK の性能を低下させるマルチパス誤差を低減する技術を開発した。この手法はアンテナを動かす機械（ターンテーブル）が必要であり、実用的ではなかった。本研究では複数のアンテナを利用しソフト・ハード的スイッチングで動作状態を作り出せないかチャレンジする。さらに 3D 建物を利用して、直接波を受信できる品質の良い衛星を確実に選択する手法を検討する。昨今 3D 建物を利用したマルチパス誤差低減手法が見受けられるが、リアルタイム性と RTK の性能向上に直結する例は新規性が高い

2. 研究の目的

移動体の自動操縦技術のために必要な研究開発の 1 つに、GNSS (Global Navigation Satellite System) による数 cm の高精度位置決定技術がある。近年測位衛星数の増加により、都市部での高精度位置解の利便性が大幅に向上したが、信頼性向上が重要な課題である。特に従来アルゴリズムでは測位位置が 50cm 以上ずれる位置飛びがあり、この位置飛びを解消することは、自動操縦技術の発展（自動車に限らず）に大きく寄与できる。本研究では、2つの提案手法で位置飛びを低減させる。1つ目は GNSS アンテナを意図的に動かし問題となっているマルチパス誤差を緩和させるものである。2つ目は 3D 建物データを利用して、自律的にその場所において観測品質のよい衛星を取捨選択する手法を構築し、結果として常に数 cm の高精度位置を算出できることを実証するものである。

3. 研究の方法

3.1 複数アンテナによる手法

複数アンテナによる手法では、事前チェックとして、都市部移動体を走行中にアンテナを動かすことで、マルチパス誤差の低減効果があるかを確認した。図 1 の左が、車両のルーフに設置したアンテナにひもでつないで中で動かせるようにしたものである。実際に都市部走行中にマルチパス誤差が大きくなる高層ビル街にきたときに、動かすことでその効果を検証した。右の水平プロット結果がその検証結果で、アンテナが静止している場合が赤のプロット、動かしている場合が青のプロットである。明らかに、アンテナを動かすことにより、大きなマルチパス誤差が低減されていることがわかる。動かしているほうは、車線をキープしているのに対して、動かしていないほうは、このとき静止状態にもかかわらず 1 車線以上位置が動いている。

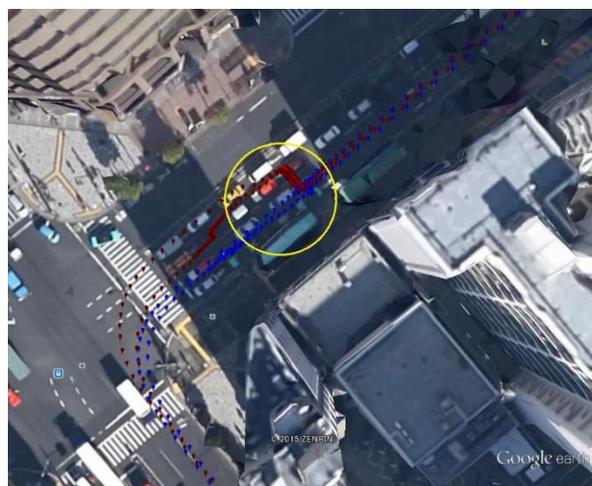


図 1 アンテナを動かすことによる効果の検証

実際にアンテナを動かすことは車両では実用的ではないため、アンテナを5つ設置し、それらアンテナから受信機への入力を瞬間的にスイッチする方法を考えた。図2にそのスイッチ用の機器と実験現場を示した。この実験では200msごとに5つのアンテナを順番に切り替えた。図2の右側をみるとわかるように、建物真横に車両を設置したため、マルチパス誤差の影響を受けやすい状態であった。図3にこのときの水平の結果を示した。橙色が通常の1つの静止状態のアンテナの結果で、青色が今回の提案手法による結果である。明らかにマルチパス誤差が低減されており、実際のアンテナの真値周辺に近づいていることがわかった。このように、擬似距離の誤差を1m程度まで低減させることで、RTKの性能が向上することはすでに知られている。課題としては、スイッチングする際に、搬送波位相追尾の瞬断が起こるため、RTKに利用できないことである。ゆえに、スイッチングさせるのではなく、ソフトウェア受信機等で、それぞれのアンテナ入力を連続的に調整するAdaptiveアンテナの開発が期待される。実際に、国内の研究者でその課題に取り組んでいる研究者がでてきている。



図2 複数アンテナ用の機器とその実験概要

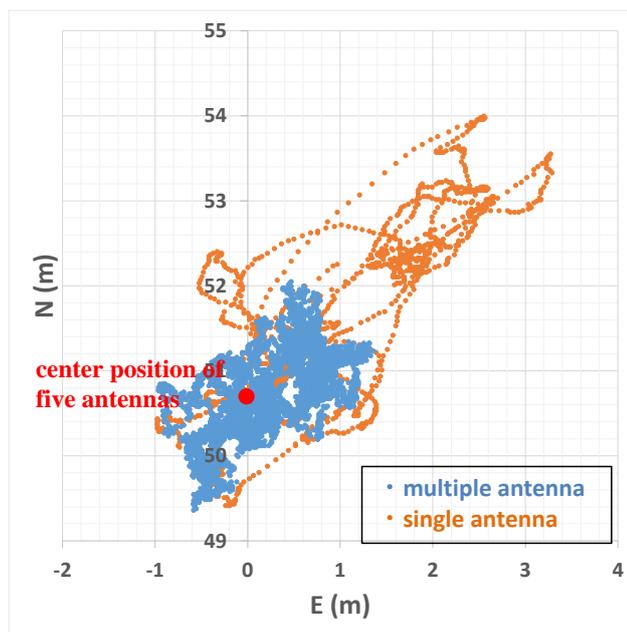


図3 提案手法と従来手法での水平位置比較

3.2 3D建物データを利用したRTK等の可用性予測と性能改善

3D建物データを利用して、性能を改善させることが従来研究でいくつか実施されており、本研究では、3D建物データを利用して、走行していない道路でのRTK等の高精度測位の予測ができないだろうかや、実際に3D建物データをリアルタイムで利用する際に課題となる部分について、重点的に取り組んだ。

まず3D建物データでのRTKの可用性予測についての概要を以下に示した。シミュレーションに利用した経路は、図4に示したとおり都内の日比谷駅や新橋駅周辺の都市部である。この経路を走行した実データと3D建物より算出したシミュレーションデータを図5で比較した。この図では、観測データで搬送波位相がきちんと出力され、RTKを解くためのフラグがOKなものを良好とした。シミュレーションでは、数秒間ではあるが、一定時間安定した直接波が届いたものを良好と判断した。図5を見るとわかるように、実データとシミュレーションデータは比較的一致しており、90%以上の一致度を見ることができた。



図4 実データとシミュレーション結果を比較した実験コース

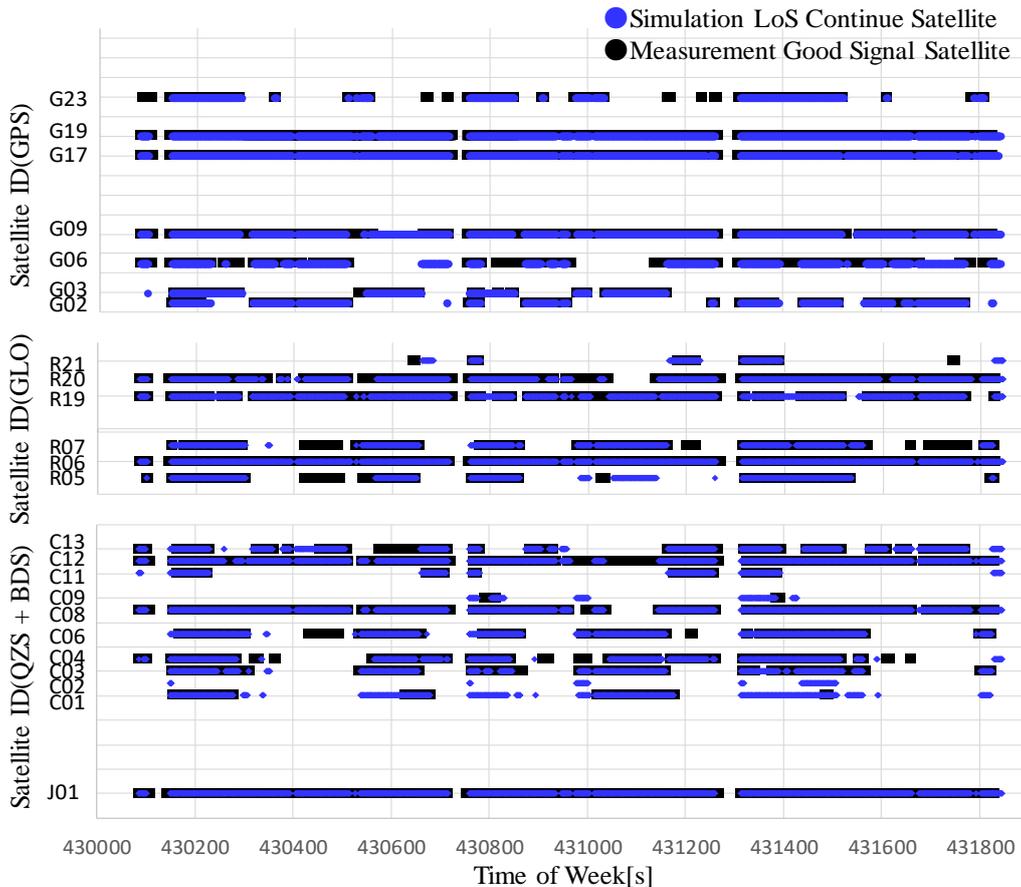


図5 実際に信号品質の良い衛星とシミュレーションでの良好な直接波の判定結果

さらに、これらシミュレーションデータより、経路上のどこで RTK 等の高精度測位が可能となるかを予測するアルゴリズムを考案した。シンプルであるが、利用できる衛星数に依存して、RTK の可否を判断したものである。その結果を図6に示した。図6の左が、この実験経路でシミュレーションではじき出した RTK が可能となる場所で、右が、実データで RTK が可能であった場所である。やや不一致の場所がみられるが、全体を通して、84%の確度で RTK の可否性を判断することができた。もしこのシミュレーションによる確度を高めていくことができれば、実際に実験で走行しなくとも、3D 地図のデータさえあれば、世界中どこでも RTK の可用性を予測することができるため、今後の自動運転等に際して、GNSS が利用される場面があれば、RTK はおそらく主要な測位手法となるため、十分寄与できるのではないかと考えている。

この後、3D 建物データのリアルタイムでの利用の観点より、シミュレーションを行うアンテナ位置が真位置でなく、誤差を持っている場合に、どの程度利用できるものなのかを検証した。都内の八重洲付近の検証結果では、シミュレーションに利用するアンテナ位置が 5m 程度違っていても、LOS 及び NLOS の判定がかなりの確度でできることがわかった。

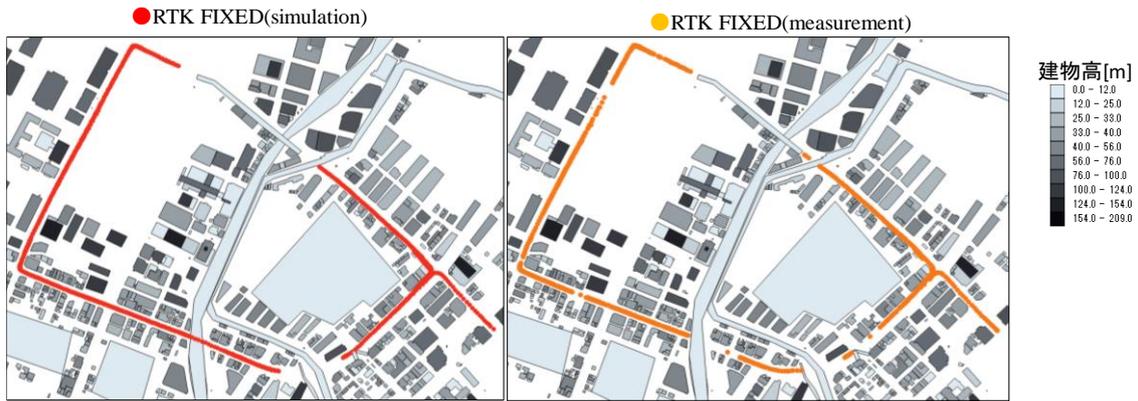


図6 RTKの可用性の予測シミュレーションと実データでの比較結果

4. 研究成果

複数アンテナによる精度向上手法については2017年にかけて実施し、所定の性能を得ることができた。複数アンテナへの入力信号を切り替える必要があるため、搬送波位相測位の連続性という観点で難があった。精度改善では、特に強い反射波を受信する状況で効果が見られた。2017年から2019年にかけて、3D建物地図支援によるGNSSの高精度測位技術開発を実施した。市販3D地図を利用したGNSSシミュレーションソフトで、RTKの性能を実データ結果と比較して80%程度予測することが可能となった。また、シミュレーション時に、数cmの精密位置でなく数mの精度の位置でもシミュレーションの妥当性を確認することができた。

今後の自動運転等を見越したとき、衛星測位による位置精度がどのくらい変化するかや、どの程度の精度が担保できるかをシミュレーションで程度知れることは、衛星測位を実際に利用する場合極めて重要である。時々刻々変化する位置精度を、実データで検証することも大事だが、シミュレーション上で、この時刻のこの道路では、どのくらいの性能が得られる、ということ事前に確度高く知れると、効率的に技術開発を進めることができる。また3D地図による誤差の大きい衛星検知において、シミュレーション時のアンテナ位置を精密位置にしなくとも、ある程度性能を発揮できることがわかったことも、本分野への寄与が大きかったと考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

| | |
|---|---------------------|
| 1. 著者名 古川 玲, 久保 信明 | 4. 巻 10 |
| 2. 論文標題 電波伝搬シミュレーションによるマルチパス環境におけるRTK-GNSS測位のFIX状況予測 | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 測位航法学会論文誌 | 6. 最初と最後の頁 13-22 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.5266/ipntj.10.13 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 - |

| | |
|--|---------------------|
| 1. 著者名 Nobuaki Kubo, Kaito Kobayashi, Li-Ta Hsu and Osamu Amai | 4. 巻 49 |
| 2. 論文標題 Multipath Mitigation Technique under Strong Multipath Environment Using Multiple Antennas | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Aeronautics, Astronautics and Aviation | 6. 最初と最後の頁 75-82 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.6125/17-0130-928 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 Nobuaki Kubo, Rei Furukawa |
| 2. 発表標題 Performance Evaluation of the 3D MAP Based Precise Positioning and its Application |
| 3. 学会等名 Proceedings of IEEE/ION PLANS 2018 (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Rei Furukawa, Yoto Emori, Yoshimi Fuji, Yukiko Kishiki, Takuji Ebinuma, Nobuaki Kubo |
| 2. 発表標題 Framework and Performance Evaluation of a Ray Tracing-Software Defined Radio Method for GNSS Positioning in an Urban Canyon Environment |
| 3. 学会等名 ITSNT 2017 (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 神明奈, 久保信明, 古川玲 |
| 2. 発表標題 3D都市データを用いた準天頂衛星の 効果シミュレーション |
| 3. 学会等名 第61回宇宙科学技術連合講演会 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kaito Kobayashi, Nobuaki Kubo |
| 2. 発表標題 Multipath Mitigation Technique under Strong Multipath Environment using Multiple Antennas |
| 3. 学会等名 IS-GNSS (国際学会) |
| 4. 発表年 2016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 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
| | | | |