

Moving Base RTKを用いた自律移動ロボットの 走行制御モジュールの開発

松本, 結 / MATSUMOTO, Yui

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学研究科編

(巻 / Volume)

63

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

6

(発行年 / Year)

2022-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00025400>

Moving Base RTK を用いた自律移動ロボットの 走行制御モジュールの開発

DEVELOPMENT OF A NAVIGATION CONTROL MODULE FOR AUTONOMOUS MOBILE ROBOTS
USING MOVING BASE RTK

松本結

Yui MATSUMOTO

指導教員 小林一行 教授

法政大学大学院理工学研究科システム理工学専攻創生科学系修士課程

The RTK GNSS can be achieved to obtain highly accurate self-position in real-time, which may be useful for outdoor waypoint navigation control for mobile robots. However, by applying RTK-GNSS to obtain an accurate position, correction data from the reference base station that has measured an accurate position in advance is required. One of the problems for RTK GNSS is miss fixed false positioning that is caused by multi-pass due to the surrounding structure when the mobile robot is navigating. To overcome the above problems, we propose the moving based RTK GNSS method which is not required the accurate position of the base reference station, instead of the conventional RTK GNSS method.

To confirm the validity of the proposed method is confirmed by preliminary experiments.

Key Words : RTK-GNSS, Moving Base, waypoint navigation, mobile robot, reference base station

1. はじめに

車の自動運転技術が注目されている。その中でも自律移動ロボットという測域センサやカメラなど各種センサを用いて、目的地まで安定して移動するロボットの研究がされている。自律移動ロボットのような移動体(Rover)の自己位置の取得として、GNSSを使用する例が多くある[1]。GNSSの測位方法にはいくつかあるが、その1つにMoving Base RTKという観測方式が登場している[2]。Moving Base RTKはRTKと異なり、基地局に正確な自己座標が必要でないためモジュールが2つあれば計測可能である。ロボットに2台のGNSS受信機を搭載することにより、静止している状態で2軸GNSSジャイロとして計測することが可能である。本研究では、RTK-GNSS(Moving Baseシステム)を自己位置の補正として用いて、RoverとBase間の相対距離をもとに走行中のロボットの進路変更を行なうシステムの開発および検証を行なう。

2. RTK-GNSS

(1) システムの仕組み

全地球測位衛星システム(GNSS)には、衛星からのデータの受信方法や、座標の処理・計算方法によって、いく

つかの異なる測位方法がある。その1つが、実時間での測位精度が高い「リアルタイム・キネマティクス法(RTK)」[3]である。Fig.1にRTKの測位方法を示す。

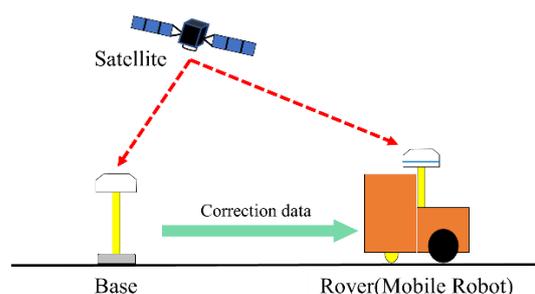


Fig.1 RTK-GNSS positioning system

Fig.1に示すように、RTKはBaseとRoverの2つの受信機を用いて移動ロボットの位置を測定する。Baseには正確な自己位置がすでに測定されており、その自己位置と受信した衛星の情報から位置補正情報を算出し、Roverに送信する。RoverではBaseから送られてきた位置補正情報と衛星情報をもとに自己位置を再計算して正確な自己位置を得る。この位置補正により、大気の状態などによるGNSS衛星からの伝搬誤差を打ち消すことができるた

め、数 cm の誤差まで精度を向上させることができる。

(2) RTK の精度誤差の要因

先ほど述べたように移動ロボットに実装する場合、環境下によっては算出された座標がロボットの自己位置と大きく異なることがある。その主な要因には次の 3 つがあげられる。

- a) Float 解と Fix 解
- b) マルチパス
- c) 天候による誤差

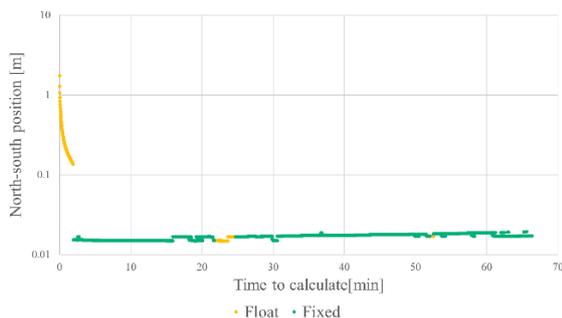
以下それぞれについて詳しく述べる。

a) Float 解と Fix 解の精度比較

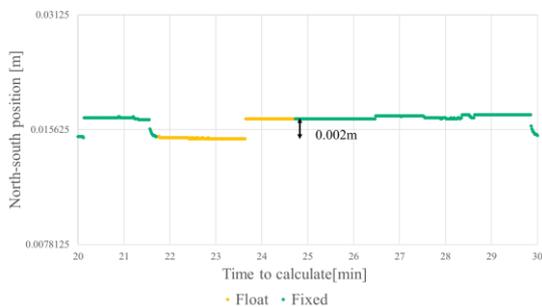
RTK では、衛星電波の波長の位相差情報を利用して位置精度を向上させている。

そのため、位置が完全に解決しない Float 解と、位置が完全に解決する Fix 解の 2 種類が存在する。

Fig.2 に、建物によるマルチパスの影響を受けない開放的な空の下で、静止した移動ロボットの自己位置を RTK で 1 時間計測した結果を示す。自己位置の算出にはオープンソースの測位計算ライブラリである RTKLIB を用いた[4]。RTKLIB を用いることで、GNSS データだけでなく、使用した衛星の数や PDOP (Position Dilution of Precision) などの観測値も容易に得ることができる。オレンジ色の点が Float 解、緑色の点が Fix 解、(a)は約 1 時間後の南北方向の位置、(b)は(a)のデータ内の 20~30 分時点で取得したものである。



(a) about 1 hour



(b) 20 to 30 minutes

Fig.2 The north-south position at stationary point at the time (a) of about 1 hour (b) of 20 to 30 minutes

Fig.2(a)に示すように、ひらけた場所では約 2 分で Fix 解が算出されていることがわかる。また、Fig.2(b)に示すように、22~24 分後に算出された Float 解は Fix 解と比較して 0.002m の差があることがわかる。

b) マルチパス

RTK の問題の 1 つは、マルチパスによる誤検出である。Fig.3 にマルチパスのメカニズムを示す。

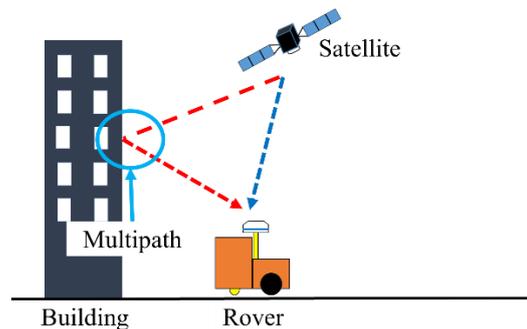


Fig.3 Multipath

Fig.3 に示すように、高い建物の近くで GNSS データを取得した場合、赤い点線で示すように壁で反射した航法データ(マルチパス)により、正確な Fix 解として誤った座標が計算されることが多くあった。これは、誤った位相が建物に跳ね返って計測されるためである。このように、Fix 解として検出された解には、実際の値よりも大きな誤差が含まれていることがあり、これをミス Fix 解という[5]。

c) 天候による誤差

天候によって算出される解析解にも誤差が見られる。Table.1 は、同じ場所で 2 つの異なる気象条件で RTK を行なった結果である。

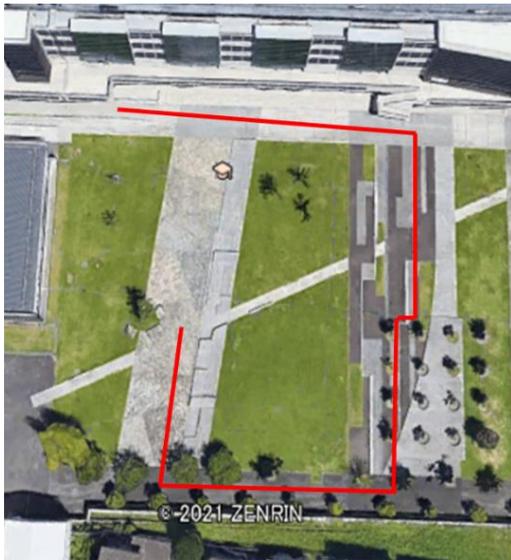
Table 1 Influence of each element by weather

Content of Comparison	sunny	cloudy
Number of Solutions[sec]	3984	3249
Fixed Solution Rate	0.9	0.7
Time required for Fixed solution [min]	2.7	12.3
The number of valid satellites for solution estimation(average)	14.6	13.7
The maximum outlier distance of the fixed solution[m]	0.01	11.8

Table.1 より、曇りの日は晴れの日に比べて全体的に測定精度が低く、曇りの日は Fix 解でも 11.8m の誤差が計測されたことがわかる。このことから、空が雲で覆われている日は、測定精度が低下すると考えられる。

(3) Moving Base

RTK と類似の手法に Moving Base があげられる。先ほど述べた RTK のシステムと異なるところは Base の座標が定まっていないという点である。Fig.4 に法政大学の小金井キャンパスの校庭で取得した GNSS データを 3 つの測位方式で測定した結果を示す。(a)では実際に走行したコースを赤線で示している。(b)では GNSS アンテナ 1 つで測定する単独測位、(c)では RTK、(d)では Moving Base の測位方法で測定した結果を示す。単独測位の結果は赤い点、RTK、Moving Base の結果は緑の点(Fix 解)と黄色の点(Float 解)で表される。



(a) actual course



(d) Moving Base (Fixed rate 10.6%)



(b) Single Point Positioning



(c) RTK (Fixed rate 4.2%)

Fig.4 Comparison of three positioning methods: (a) actual course (b) Single Point Positioning (c) RTK (d) Moving Base

Fig.4(a)で走行したコースと(b), (c), (d)の解析結果をそれぞれ比較する. (d)Moving Base は(c)RTK と比較するとコース上の座標を算出できているかという点で精度は落ちる. しかし, (b)単独測位と比較すると精度が良く, ロボットの自己位置推定に使用できるといえる. また RTK と Moving Base の Fix 率は 4.2%, 10.6%であり Moving Base のほうが高かった.

3. 仮定と問題の記述

(1) 本研究における仮定

安定した自律的なウェイポイントナビゲーションを実現するために, 以下の仮定を設ける.

A1) 移動ロボットはトンネルや建物など, GNSS データが取得できない場所は走行しない

A2) Base からの RTK 補正データが, インターネットを通じてモバイルルータから定期的に入手できる

A1 は, 第 4 章で説明するウェイポイントナビゲーションを行なうために必要である. A2 は RTK-GNSS を利用するために必要である.

(2) 本研究における問題

以上の仮定のもと, GNSS データを用いて走行中のロボットの制御を行なうために, 2つの問題があげられる.

P1) ロボットの現在地の座標と方位角の取得

P2) 走行中に取得した GNSS データの解析

2つの GNSS モジュールを実装した際の方位角の算出方法を P1 として定義する. また 2 章で述べたように, GNSS データを直接得た情報のまま使用するには誤差が生じていた際のリスクが高い. そのため, 得た GNSS データを選定する必要がある P2 として定義する.

4. 提案するシステム

本章では、安定した自己位置測定の概要を説明する。Fig.5 に、GNSS データを用いたオドメトリ補正の提案を示す。

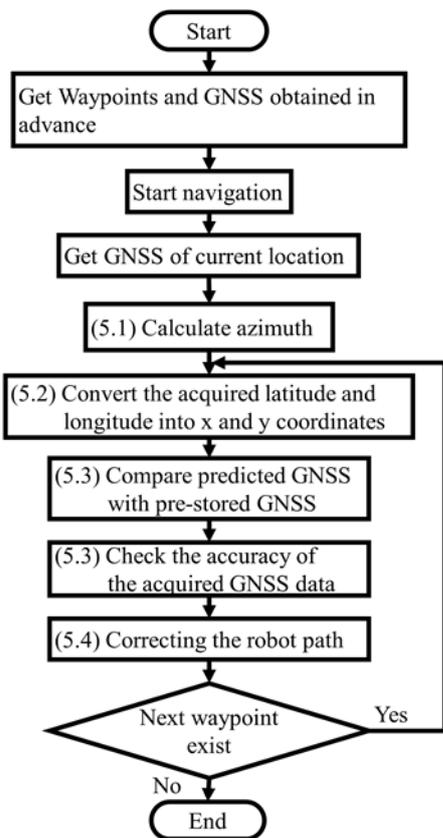


Fig.5 Algorithm of proposed odometry correction with GNSS data

Fig.5 に示すように、まず移動ロボットの制御システムは、事前に取得したウェイポイントと GNSS 座標を持っている。移動ロボットがナビゲーションを開始すると、現在の GNSS 座標を取得する。その際に方位角が計算され、ウェイポイントに到達するまで以下の手順が毎回繰り返される。

- (1) 取得した緯度、経度の情報を x, y 座標に変換する
- (2) 前回取得した GNSS 座標と今回取得した GNSS 座標を比較する
- (3) 大きな差がある場合は、周辺環境から現在の GNSS 座標が信頼できるかどうかを判断する
- (4) 現在の GNSS 座標が信頼できると判断された場合、事前に取得した GNSS 座標を用いて、ウェイポイントを正しい位置に調整する

(1) 方位角の算出

ここでは、P1 の解として移動ロボットが向いている方向(方位角)の算出方法を説明する。ロボットの前後に GNSS 受信機(u-blox 社 ZED-F9P)を 2 台搭載し、ロボットの後ろ側を Base, 前側を Rover とする。南北方向の距離と東西方向の距離データを取得し、ロボットの角度を求

める。角度 θ は式(1)で示される。ここで、 Δy = スタート地点と現在地点の南北方向の距離の差、 Δx = スタート地点と現在地点の東西方向の距離の差とする。

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right) \quad (1)$$

(2) GNSS データの選定

ここでは、P2 の解として取得した GNSS データの精度を確認する方法を説明する。Fig.6 に取得した GNSS データの精度を確認するアルゴリズムを示す。

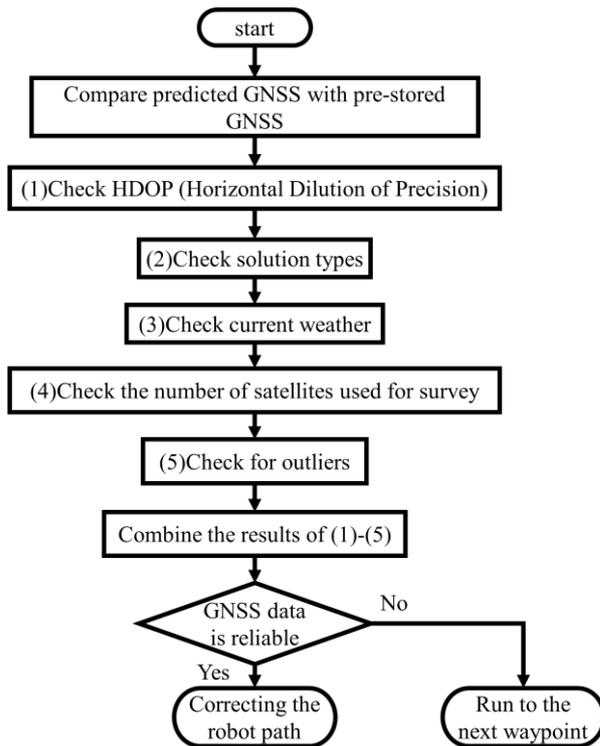


Fig.6 Flow of comparing the predicted GNSS coordinates and checking the accuracy of the acquired GNSS data

Fig.6 に示すように、まずウェイポイントの値に到達したときの GNSS データと、以前に取得した GNSS データの値を以下の 5 つの観点から判断する。

- (1) HDOP(Horizontal Dilution of Precision)値
- (2) ソリューションの種類
- (3) 現在の天候
- (4) 調査に使用した衛星の数
- (5) 外れ値かどうか

(1)の HDOP 値は GNSS データとともに取得可能であり、数値が大きいほど精度が悪くなることを示す。(2)は、算出された解が Fix 解であれば信頼性が高いと考えられる。(3)では、ネットワークが利用できるため、移動ロボットの航行エリアの気象情報を取得し、現在が晴れであれば、GNSS データの信頼性が高いと判断する。移動ロボットが建物のそばを航行する場合、建物に遮られて測定

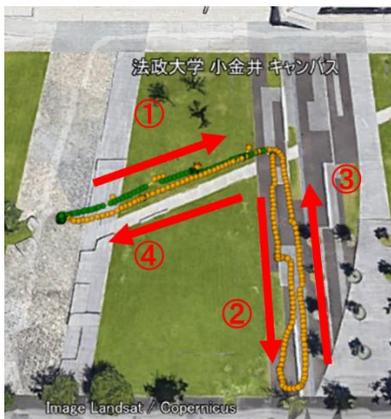
できる衛星の数が少なくなり、解の精度も悪くなる。そこで(4)では、使用する衛星の数が前回のデータよりも極端に少ないかどうかを判断する。また、移動ロボットの速度と GNSS データの時間間隔から、移動ロボットの移動距離を大まかに推定することができる。(5)では、前回の GNSS データと現在地の GNSS データから移動ロボットの移動距離を算出し、移動ロボットの予測移動距離と比較することで、現在の GNSS データがマルチパスによって大きく逸脱しているものであるかどうかを判断する。

これら 5 つの視点で比較した結果、現在地の GNSS データが正確であると判断された場合は、GNSS データをもとにしたウェイポイントを作成し直し、目的地として設定する。

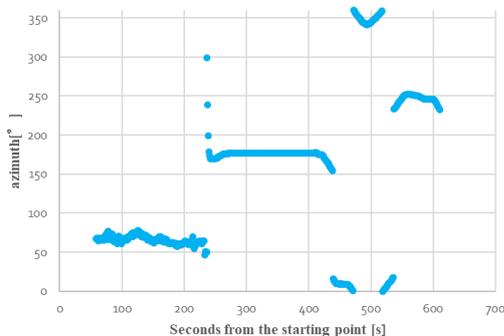
5. 検証

(1) 方位角の取得

まず、ひらけた場所にて移動ロボットを走行させたとき、方位角を算出できるかどうかを確かめた。Fig.7(a)に法政大学小金井キャンパスの中庭にて走行したコース、Fig.7(b)に算出した方位角を示す。Fig.7(a)より写真の上がおおよそ北となっており、①の方向の角度は約 66° であった。



(a) The course mobile robot run



(b) Calculated azimuth angle

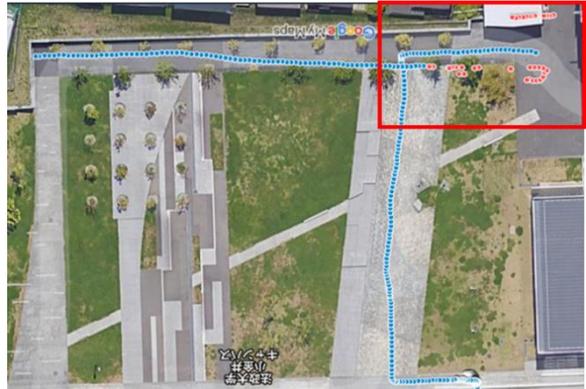
Fig.7 Verification of Azimuth Acquisition (a) The course mobile robot run (b) Calculated azimuth angle

Fig.7(b)より、東、南、北、西の4方向にロボットの向きが変わったときに角度も対応しており、方位角を算出できたことがわかる。

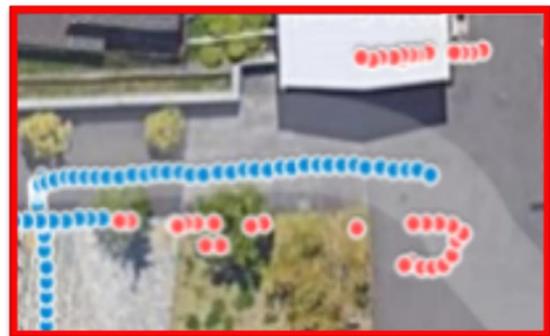
(2) 取得した座標値の解析

次に、木や建物などマルチパスが発生しやすい場所を走行させ GNSS データを x および y 座標に変換した際の精度についての結果を述べる。

Fig.8(a)に法政大学の小金井キャンパスの中庭にて走行したコース、Fig.8(b)にその一部を拡大したものを示す。



(a) The original GNSS data



(b)

Fig.8 Experiments on the conversion from latitude and longitude to x, y coordinates (a) The original GNSS data (b) An enlargement of part of (a)

Fig.8 より取得した GNSS データと航空写真から判断して、青い点がロボットの自己位置として使用できる精度の良いデータ、赤い点を使用することができない精度の悪いデータとして判断する。

Fig.9(a)に 4 章で述べた提案手法をもとに変換を行なった結果、Fig.9(b)に Fig.8(b)と同じ部分を拡大したものである。青い○印をロボットの自己位置として使用できる精度の良いデータ、赤い×印を使用することができない精度の悪いデータとして認識している。

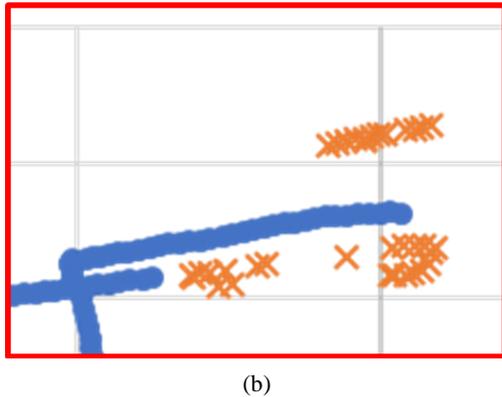
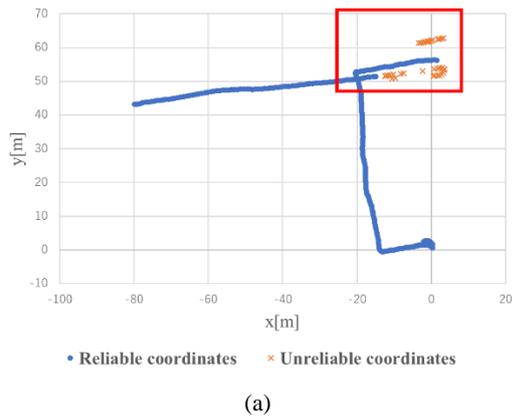


Fig.9 Experiments on the conversion from latitude and longitude to x, y coordinates (c) Conversion to x, y coordinates (d) Same part as (b) Photo credit: Google map.

Fig.9(d)に示すように、信頼性の低いGNSSデータと信頼性の高いGNSSデータを区別することができた。

6. 結論

本研究では、Moving Base RTK を精度の良いデータのみをピックアップしながら自己位置の補正として用いつつ、Rover と Base 間の相対距離をもとに走行中のロボットの進路変更を行なうシステムを開発した。その結果、精度の良いデータのみ選出できることを確認した。

7. 今後の展望

今回は GNSS の観測データが入手しやすい環境下でデータの収集、実験を行なったが、実環境で実用化する際やトンネル内などの環境下で走行することも視野に入れる必要がある。そのため今後の展望として、GNSS 観測データが一時的に取得できないときの移動ロボットの補正方法も考える必要がある。

参考文献

- 1) Ahmed El-Mowafy, Nobuaki Kubo, “Integrity monitoring for Positioning of intelligent transport systems using integrated RTK-GNSS, IMU and vehicle odometer,” IET Intelligent Transport Systems, Vol. 12, Issue 8, pp.901-908, 2018.
- 2) Takeki Ogitsu, Manabu Omae, Hiroshi Shimizu, “A Study of Platoon Control System Using Moving Base RTK and Vehicle-to-Vehicle Communication Network,” Proceedings of the Society of Automotive Engineers of Japan, Inc. Vol. 43, No.4, pp.911-916, 2012.
- 3) Lambert Wanninger, “Introduction to Network RTK,” IAG Working Group 4.5.1: Network RTK (2003-2007), 2008.
- 4) K.M. Ng, J. Johari, S.A.C. Abdullah, A. Ahmad, B.N. Laja, “Performance Evaluation of the RTK-GNSS Navigating under Different Landscape,” 2018 18th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS), pp.1424-1428, 2018.
- 5) Tomoji Takasu, “RTKLIB ver.2.4.2 Manual”, http://www.rtklib.com/prog/manual_2.4.2.pdf