

マルチ GNSS を対象とした衛星位置計算シミュレーションの構築

Development of a simulation for multi-GNSS satellite's position

○軽部茜¹, 佐田達典², 石坂哲宏²Akane Karube¹, Tatsunori Sada², Tetsuhiro Ishizaka²

Abstract: The GPS's simulation which evaluates of visibility has been developed in the existent studies. However, the simulation for multi-GNSS has not been developed. The purpose of this study is to develop a simulation which can calculate satellite position, elevation, and direction angle by inputting date, time, and observation position as each satellite orbit. As a result, the simulation was successfully developed to calculate satellite position about all of GPS and some of COMPASS.

1. はじめに

衛星測位では米国の GPS(Global Positioning System) の利用が主流であり, 基準点測量など測量分野のほか, 応用される分野は多岐に渡る. 衛星を利用した測位システムは, GPS 以外にも各国で開発が行われており, 試験衛星の打ち上げや運用を想定したシミュレーションが行われている. 我が国では, 準天頂衛星一号機「みちびき」が平成 22 年 9 月 11 日に打ち上げられ, その後順調に飛行を続け, 初期の予定通り測位信号, 測位補強信号の利用実証に供されている^[1]. 一方, 近い将来には GPS に加え, ロシアの GLONASS, 中国の COMPASS, 欧州連合の Galileo がマルチ GNSS として広く利用に供されようとしている.

このような環境の中, 柴崎ら^[2], 福森ら^[3]等が衛星の可視性評価の研究を行ったが, GPS や QZSS についての研究であり, マルチ GNSS には対応していない.

本研究では, マルチ GNSS に対応した衛星の可視性を評価するソフトウェアを構築することを目的に研究を進めている. 本稿では, 指定時刻におけるマルチ GNSS 衛星の位置計算を行うシミュレーションの構築について述べる.

2. 航法メッセージ

衛星位置計算 (X,Y,Z) には, 航法メッセージの中にある軌道情報 (放送歴) を中心に行う. この放送歴はケプラー軌道要素というものであって, 地上の制御部分で行われた軌道追跡データに基づく予報値である. 航法メッセージにはエフェメリスとアルマナックという軌道情報がある. 天文学ではともに歴の意味であるが, 前者は「短命な」という意味がある. エフェメリスは地上の管制局によって頻繁に更新される精度の高い歴であって, アルマナックは概略値であるから長期にわたって変わらない^[4].

アルマナックは, GPS は米国沿岸警備隊 HP から, QZSS は JAXA の HP から, GNSS はニコン・トリンブル社 HP から入手が可能である. GPS, QZSS のアルマナックは YUMA フォーマット形式であり, ニコン・トリンブル社のアルマナックとは形式が異なる. しかし, 両者とも Table 1 のような軌道要素によって衛星位置計算が可能である.

Table 1. Orbit element

parameter	sign	content
Radius of orbit length	a	This shows size of orbit
Eccentricity	e	This shows the amount of the orbit deviation from circular
Orbital Inclination	i	The angle to which the SV orbit meets the equator
Right Ascen at Week	Ω	Geographic longitude of the ascending node of the orbit plane at the weekly epoch
Argument of Perigee	ω	An angular measurement along the orbital path measured from the ascending node to the point of perigee, measured in the direction of the SV's motion
Mean Anom	ν	Angle (arc) traveled past the longitude of ascending node
Gravity Constant	GM	3.986005E+14
Eccentricity of earth	eec	0.00669438
Radius of equator	ea	6378137

3. プログラムの概要

本研究ではアルマナックを使用し, 各衛星の軌道要素から日付, 時間, 場所 (緯度, 経度, 楕円体高) を Figure 1 の画面のように入力し, 衛星の位置 (X,Y,Z), 仰角, 方位角を出力するプログラムを作成した. 使用言語は Microsoft Visual C++2010 である. 衛星の位置を把握する既存のソフトウェアのひとつとしてニコン・トリンブル社の Planning がある. このソフトウェアは緯度, 経度, 日時等の観測条件を記入し, スカイプロット図やグラフによって衛星の位置, 可視できる時間を把握できる^[5]. Planning はニコン・トリンブル社 HP にて無料でダウンロードが出来るため, インターネット環境があれば誰もが自由に使用することができる. 本研究では, 今後衛星の可視性を評価することを最終

目的としているため、このソフトウェアとは別にプログラムを作成した。

Figure 1. Start screen of program

4. プログラムの精度検証

本研究で構築したプログラムに、検証日である 2012 年 9 月 22 日、6 時 40 分、東京（緯度 35 度 42 分、経度 138 度 30 分、楕円体高 500m）の条件を入力し、GNSS 衛星の位置計算を行った。

プログラムで求めたものと Planning で表記されている仰角、方位角との比較を Table 2、Table 3 に示す。

Planning の値を真値とすると、Table 2 より、GPS では仰角は $0.16 \sim 1.89^\circ$ 、方位角は $0.65 \sim 2.98^\circ$ の誤差で計算が行えた。Table 3 より、COMPASS についても、仰角は $0.03 \sim 0.64^\circ$ 、方位角は $0.08 \sim 1.15^\circ$ の誤差で計算が行えた。

Table 2. Comparison of the GPS

satellite number	program		Planning	
	elevation[°]	direction angle[°]	elevation[°]	direction angle[°]
G14	58.57	163.92	60.00	162.00
G16	12.70	239.10	12.00	238.00
G25	41.11	43.65	43.00	43.00
G29	49.16	89.16	49.00	92.00
G30	37.67	255.03	38.00	254.00
G31	57.80	331.98	56.00	329.00
G32	20.56	286.02	21.00	289.00

Table 3. Comparison of the COMPASS

satellite number	program		Planning	
	elevation[°]	direction angle[°]	elevation[°]	direction angle[°]
C01	50.36	177.33	51.00	177.00
C03	20.48	248.08	21.00	248.00
C04	42.97	145.79	43.00	145.00
C07	72.12	346.24	72.00	347.00
C08	38.16	198.15	38.00	197.00
C10	45.06	314.81	45.00	315.00

以上から、GPS と COMPASS については、Planning で示されている仰角、方位角とほぼ同値を計算するこ

とが出来た。僅かに見られる誤差の要因としては、ニコン・トリプルのアルマナックと YUMA フォーマットとの間で変換する計算、軌道計算での誤差等が考えられる。

今回行った検証では GLONASS, Galileo については正しい衛星位置計算が行えなかった。これらの衛星は GPS と違い、衛星軌道が日によって遷移するため、衛星位置の計算方法が異なると考えられる。

COMPASS は Table 3 以外で、正しく計算が行える衛星と行えない衛星が存在した。COMPASS は周回衛星、傾斜型地球同期軌道衛星、停止衛星の 3 つの軌道を持つ測位衛星システムであり、計算が行えたのは衛星軌道の遷移しない傾斜型地球同期軌道衛星、停止衛星である。周回衛星については GLONASS, Galileo と同様、衛星軌道が遷移するため、計算が行えなかった。

5. おわりに

衛星の軌道情報であるアルマナックを txt ファイルでそのまま読み込み、GPS と COMPASS の一部の衛星の位置計算を行うプログラムを構築した。

今後は、今回位置計算を正しく行えなかった GLONASS, Galileo, COMPASS の一部の衛星について再度、位置計算方法を検討する。また、衛星位置計算に加えて、3次元レーザースキャナ等で取得した3次元点群データを用いて天空図を作成し、実際の衛星位置との比較を行い、可視性の評価をする予定である。

参考文献

- [1] 安田明夫：「マルチ GNSS の動向と我が国の取り組み」、GPS/GNSS シンポジウム 2011, pp.3~pp.7, 2011
- [2] 柴崎亮介, 小西勇介, 徐庸鉄, 袴田知弘：「衛星測位の利用可能シミュレーションによる準天頂衛星とスードライトの評価」、土木計画学研究・講演集, 2003 年 6 月
- [3] 福森秀晃：移動体における RTK 測位の利用可能性を予測する手法に関する研究, 日本大学大学院理工学研究科社会交通工学専攻修士論文概要集, 2009 年 2 月
- [4] 土屋淳, 辻宏道：「新・GPS 測量の基礎」、pp.36, 2002
- [5] 福森秀晃, 佐田達典：「衛星の可視性を評価するシミュレーションシステムに関する基礎的検討」、土木学会全国大会, 2008