

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

日本大学 学生会員 ○福森 秀晃

日本大学 正会員 佐田 達典

1. はじめに

現在、測位用の人工衛星は GPS、GLONASS が運用中であり、今後は Galileo、準天頂衛星などが計画されている。衛星測位は将来的に衛星数が増加し、安定的運用が見込まれるため、カーナビゲーションの高度化や情報化施工の技術向上など、交通、建設分野への応用が期待されている。特にリアルタイムで高精度に位置を把握することのできる RTK (Real-time Kinematic) という技術が重要である。RTK は、観測可能衛星数によって測位精度が大きく影響を受ける。衛星電波の観測可能性は、衛星の可視性に依存するため、事前に安定的運用が可能か否かを検討するには衛星の可視性をシミュレーションする技術が必要になる。

そこで本研究では、実際の地形、街区において衛星の可視性を評価するシミュレーションシステムの開発を目的として、衛星の位置計算方法、衛星電波を遮断する地物の表現手法の研究を行った。地物の表現手法として、3次元点群データから建物モデルを作成する方法について検討した。

また、本研究で取り扱う位置データは、すべて世界測地系で表現できる。世界測地系とは、地球重心を原点とする3次元直交座標系 (ITRF 座標系など) である。世界測地系上での衛星位置と観測位置、及び地物等の位置関係から衛星の可視、不可視の議論が可能となる。地球中心を原点とした座標系を図-1に示す。

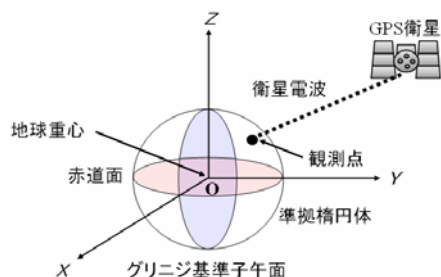


図-1 世界測地系 (3次元直交座標系)

2. 衛星の位置計算

地球と衛星を密度一定の球体とし、他の力は働いていないという理想的な状態では、衛星の運動は宇宙空間に

表-1 軌道要素

パラメータ	記号	内容
軌道長半径	a	軌道の大きさ
楕円の離心率	e	楕円のつぶれ具合
軌道傾斜角	i	軌道面の地球赤道面に対する角度
昇交点赤経	Ω	赤道面内における春分点方向と、衛星軌道が赤道面を北方向に横切る昇交点とでつくられる角度
近地点引数	ω	軌道面内における昇交点と近地点との間の角度
近点離角	ν	近地点とその瞬間の衛星位置との間の軌道面内における角度

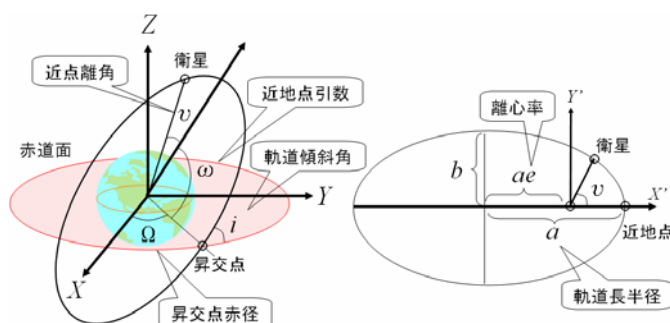


図-2 衛星の軌道と6要素

固定された楕円軌道となる。地球はその焦点のひとつであり、楕円軌道は表-1の6つの軌道要素で特定できる。図-2には軌道面と6要素の関係を示す。

摂動を考慮した衛星の3次元座標を表す式は、次のようになる。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \Omega & -\sin \Omega \cos i \\ \sin \Omega & \cos \Omega \cos i \\ 0 & \sin i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで、 x 、 y : 軌道面上での衛星の座標

i : 補正を加えた軌道傾斜角

Ω : 補正を加えた昇交点赤経

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、Trimble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入力し、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。

3. 建物のモデル化

3次元形状をコンピュータ上に再現することをモデリングという。モデリングのためのデータを取得する

キーワード 衛星 GPS シミュレーション レーザースキャナー CAD

連絡先 〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1 日本大学理工学部 空間情報研究室 TEL047-469-8147

技術には、デジタル写真測量、航空レーザー測量、地上型レーザースキャナーなどがある。本研究では、地上型レーザースキャナーによってキャンパス内を計測し、得られた3次元の点群データを利用してキャンパス内のモデル化を行う手法を用いた。レーザースキャナーは、RIEGL社製のLMS-Z420iとLMS-Z210iを使用した。

4. 船橋キャンパスにおける建物のモデル化

(1) モデル化区間と使用データ

本研究では、理工学部船橋キャンパス内で、交通総合試験路から7号館前までの道路を中心に周辺をモデル化の対象とする。周辺に存在する13号館、14号館、食堂、7号館の建物がモデル化の対象となる。使用するデータは、地上型レーザースキャナーによって得られた3次元の点群データで、図-3にモデル化区間の点群データを示す。図中央の線は、試験路から7号館前までの道路の位置を表している。

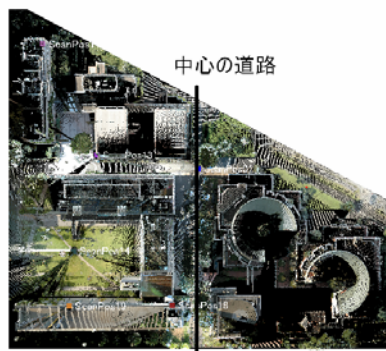


図-3 モデル化区間の点群データ (平面図)

(2) データの間引き

得られた点群データは、そのままではデータサイズが大きすぎて読み込みや再作図に時間がかかるため、点群を間引く作業を行ってからAutoCADへ移す。段階的に間引いていきスムーズな作業を行えるようにする。図-4の例は7号館北側の壁であり、左側が間引く前、右側が10cm³に1点の間隔で間引いたものである。



図-4 間引きの例

(3) 建物モデル作成の手順

建物モデルは、建物を直方体に近似して形状を再現する。手順の概要を次に示す。

- ① 解析ソフトを用いて、前節の間引く作業を行う。
- ② 間引いたデータを dxf 形式で AutoCAD へ移す。

- ③ AutoCAD 上で直方体の建物モデルを作成し、寸法と点群データとの重なりを確認する。

- ④ 全建物を同時に表示させ、位置関係の確認を行う。

図-5は、14号館を例として取得した寸法から作成した直方体モデルと点群データを重ねて比較したものである。

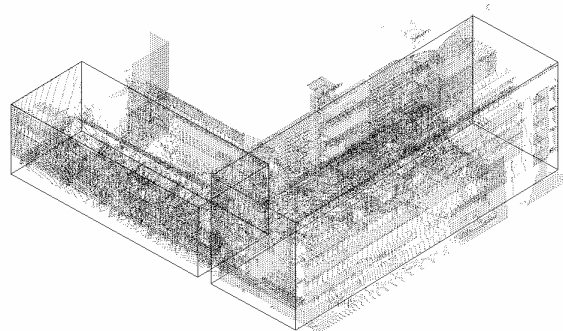


図-5 直方体モデルと点群データの例

5. 船橋キャンパスにおける簡易シミュレーション

(1) シミュレーション条件の設定

モデル化を行った区間内でGPSの受信実験を行い、衛星の可視、不可視が入れ替わる時刻を、実測値と予測値で比較した。時刻を比較することにより、建物モデルの有意性を確認した。比較には前述のPlanningのスカイプロット図を利用した。

(2) 入れ替わり時刻の比較

実測による入れ替わり時刻と予測による入れ替わり時刻の比較を表-2に示す。

表-2 可視、不可視の入れ替わり時刻の比較

衛星	状態	実験日	実測時刻	予測時刻	差	対象建物
G19	可→不	2008年1月9日	13時35分	12時43分	8分	食堂
G28	不→可	2008年1月10日	10時46分	10時48分	2分	13号館
G08	可→不	2008年1月10日	10時57分	10時55分	2分	14号館
G17	不→可	2008年1月10日	11時45分	12時10分	25分	13号館
G04	不→可	2008年1月10日	13時19分	13時18分	1分	14号館
G31	不→可	2008年1月12日	1時15分	1時15分	0分	14号館
G01	不→可	2008年1月12日	1時21分	1時27分	6分	13号館
G29	不→可	2008年1月12日	2時05分	2時17分	12分	食堂

時刻の差が2分以内となったのは4ケースであった。それ以外は6～25分の差となった。精度よくモデル化できている箇所とそうでない箇所が混在している。

6. おわりに

本研究では、シミュレーションシステムの開発を最終目的として、衛星の位置計算方法、街区の表現の基礎的な部分について調査と検討を行った。今回の検討結果では不十分であったので、今後、建物の表現方法、シミュレーション方法について、さらに検討を行う予定である。