

重力異常検出のためのラジコンヘリコプター姿勢計測装置の基礎的検討

東京理科大学 学生会員 ○大澤 英里
 東京理科大学 正会員 佐伯 昌之
 東京工業大学 正会員 盛川 仁

1. はじめに

深部地盤構造を推定するために重力異常データが活用されている¹⁾。重力異常データを観測する手法の一つに空中重力探査がある²⁾。空中重力探査では、重力計の位置と姿勢を動的に、かつ高精度に把握する必要がある。これは、ある時刻に重力計が傾斜した場合、重力計はセンサの軸方向の値として重力の分力を計測するため、その時刻において観測値を補正する必要があるためである。既往の研究では、重力計と共に加速度計を搭載することで重力計の姿勢を把握し、この補正を行っている²⁾。これに対し、本研究では複数の GPS 受信機を用いて重力計の姿勢を計測することを考える。また、ラジコンヘリコプターに重力計を搭載することで、低コストかつ局所的な観測を目指す。

一般に、GPS 受信機の運動を動的かつ高精度に推定するには二周波 GPS 受信機が用いられる。しかし、本研究では、積載重量 10[kg]以下のラジコンヘリコプターでも搭載できる計測装置の開発が要求されている。そこで、二周波のものと比較して、軽量で低消費電力の一周波 GPS 受信機を用いることを検討する。

以上のことをふまえ、本研究では、複数の GPS 受信機を用いた動的姿勢解析アルゴリズムの開発を行い、姿勢計測が行えるシステムの実装を行う。

2. GPS 姿勢計測装置の試作

図 1 に作成した GPS 姿勢計測装置の試作機を示す。また、その概略図を図 2 に示す。試作機は一周波 GPS 受信機 4 台と CPU ボード、Flash メモリにより構成されている。一周波 GPS 受信機としては、消費電力が小さく軽量の Novatel 社製の OEMV-1 を採用している。GPS 受信機は CPU ボードとシリアル通信で結ばれており、CPU ボードが計測開始信号を送信すると、GPS 受信機は GPS データを取得して CPU ボードに転送し、4GB の Flash メモリに保存されるようになっている。サンプリングレートは 20[Hz]、解析は全て後処理で行う。

また、各アンテナ間隔は 90[cm]とした。

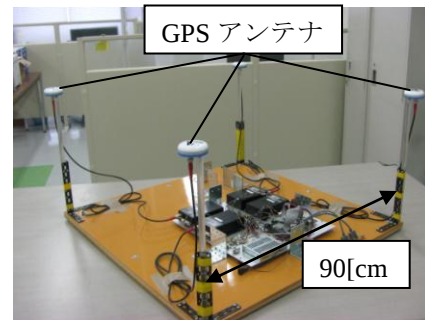


図 1 GPS 姿勢計測装置の試作機

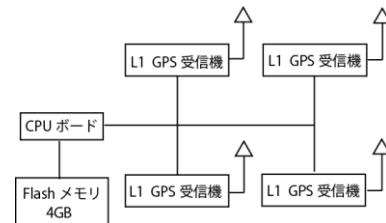


図 2 GPS 姿勢計測装置の概略図

3. 動的姿勢解析アルゴリズムの開発

ラジコンヘリコプターの位置と姿勢を、地上の基準点と GPS 姿勢計測装置上に固定された 4 台の GPS 受信機を用いて決定する。本研究では、グローバル座標系は、地上の基準点を原点とし、真東を X 軸、真北を Y 軸、鉛直上方向を Z 軸とする。また、GPS 姿勢計測装置上に固定されたローカル座標系は、航空技術に従って図 3 の様に設定する。また、各軸周りの回転角を pitch 角 θ , roll 角 φ , yaw 角 ψ とし、オイラー角の定義に従い回転行列 $R(\psi, \theta, \varphi)$ を設定する。位置と姿勢は式 (1)より回転と平行移動から求めていく。ここで、 r_i は

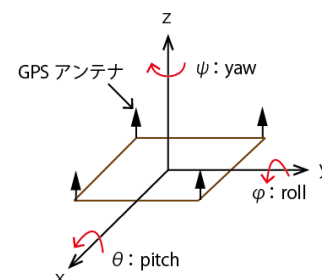


図 3 ローカル座標系の設定

キーワード：空中重力探査、一周波 GPS、Kinematic GPS、姿勢計測、ラジコンヘリコプター

連絡先：〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 東京理科大学理工学部土木工学科 構造工学研究室 TEL：0471241501(ex4075)

$$\mathbf{r}_i = R(\psi, \theta, \varphi) \mathbf{a}_i + \mathbf{r}_0 + \boldsymbol{\varepsilon}_i \quad (1)$$

Kinematic GPS 測位により得られる基準点から見た各アンテナの相対位置である。また、 $\mathbf{a}_i$ はローカル座標で表される i 番目のアンテナの固定位置、 $\boldsymbol{\varepsilon}_i$ は誤差である。以上より、式(1)に最少二乗法を適用し、未知数 $\mathbf{r}_0$ (ローカル座標の原点)、 φ 、 θ 、 ψ を求めていく。

4. 姿勢計測実験及びその結果

動的姿勢解析アルゴリズムに従って作成したプログラムを用いて、姿勢が推定できることを確認するための実験を行った。実験の様子を図4に示す。実験はラジコンヘリコプターの場合と同程度の条件にするため、周囲に高い建物のない屋上にて行った。また、地面からのマルチパスの影響を受けないよう、全てのアンテナに15[cm]四方のステンレス製のグランドプレーンを取り付けてある。実験内容は、GPS 姿勢計測装置を傾斜させた状態で静止させ、約1時間GPSデータを取得するというものである。本実験では、比較のために加速度計を装置に設置している。加速度計のサンプリングレートは20[Hz]とし、GPS時刻と同期している。なお、装置はyaw角を与えないように傾斜させた。図5～6に推定された姿勢の結果を示す。ここで、横軸は解析開始からの経過時間、縦軸は角度を示す。また、

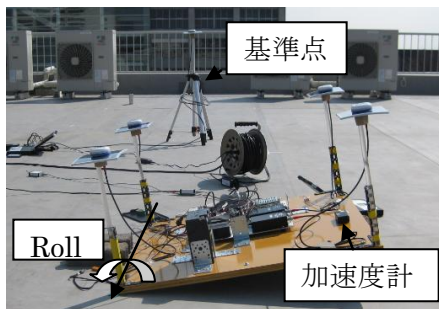


図4 実験の様子

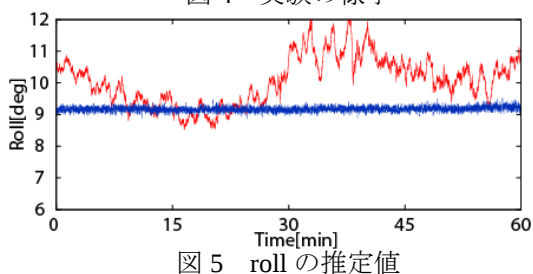


図5 roll の推定値

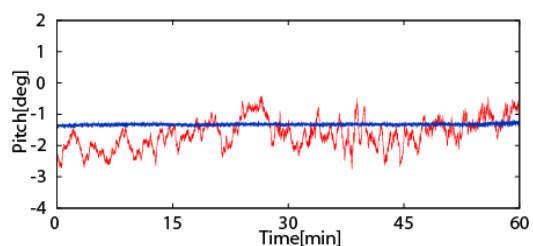


図6 pitch の推定値

赤線はGPSデータからの推定値、青線は加速度データからの推定値を示す。GPSデータからの姿勢の推定値は安定した解が得られないことが確認出来る。有意な重力異常データを得るのに要求される重力の精度は、100[μgal]～1[mgal]とされている。本実験では、Roll角に関しては最大で約3度の誤差が生じている。これは重力加速度に換算して1.3[gal]程度の誤差となる。また、位置の推定結果に関しては鉛直成分に最大で約2[cm]の測位誤差が生じていることを確認している。

ここで、傾斜誤差が重力の観測値に与える影響を考える。傾斜誤差 θ を微小とすると、重力の誤差は式(2)に近似することが出来る。ここで g は重力加速度、 g_m は

$$\begin{aligned} g - g_m &= g(1 - \cos \theta) \\ &\cong g \left\{ 1 - \left(1 - \frac{\theta^2}{2!} \right) \right\} = \frac{g\theta^2}{2} \end{aligned} \quad (2)$$

重力計の観測値を示す。式(2)より、 θ が1/2, 1/3…倍になると、重力の誤差は1/4, 1/9…倍と2乗で小さくなる。つまり、今後測位精度を向上することで、重力の誤差は十分小さく出来ると考える。

5. 今後の展開

現段階では、動的姿勢解析アルゴリズムを開発し、静止させた状態でのGPS姿勢計測装置の位置及び姿勢の推定を行った。ただし、有意な重力異常データを取得するには、今後の精度改善が不可欠である。これはKinematic GPS測位手法、及び動的姿勢解析アルゴリズムの改善により精度向上を図る予定である。また、今回は静止した状態のみの検討であることから、今後アンテナを動かした状態のデータに対して性能、精度を検証していく必要がある。

謝辞：本研究は、科学研究費補助金（課題番号：21671003）を得て行った。記して謝辞を表す。

参考文献

- 1) 高橋千佳，盛川仁，駒澤正夫，関口春子，澤田純夫：新潟県中越地震被害地域における重力探査を用いた深部地盤構造のモデル化，地震第2輯，第61巻，2008年，pp.33-48.
- 2) Mary F. Peters and John M. Brozena：Methods to Improve Existing Shipboard Gravimeters for Airborne Gravime