

平成 21 年 5 月 20 日現在

研究種目： 基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号： 19500158
 研究課題名（和文） 高精度GPS技術と小型UAVフォーメーションフライトの融合による地物の解析
 研究課題名（英文） Development of Aerial Survey System using a Small Unmanned Aerial Vehicle Based on High-Accuracy GPS Technology
 研究代表者
 瀧口 純一（TAKIGUCHI JUN-ICHI）
 早稲田大学・理工学術院・准教授
 研究者番号：50449344

研究成果の概要：小型自律飛行機（UAV）の複数台の運用、複数回の飛行により取得される連続画像を用いて、取得した連続画像の特徴点とGCP（Ground Control Point）を画像処理により複合追跡することで、地物の精密な三次元地物計測手法の開発を行った。提案手法を評価するため、神奈川県三浦半島において干潟の地形観測を行いその結果、平面分解能2cm、奥行き分解能15cmという高分解能な三次元計測を達成し、本手法の有効性を確認した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：センサ融合・統合、ステレオ視、UAV、画像処理

1. 研究開始当初の背景

近年、現状の航空機や衛星等を利用した測量手法では対応できない、小範囲の高分解能な計測の需要が高まっている。航空測量メーカでは日本全国の主要な都市の航空測量結果が整備しつつあるが、数年程度経過した古い情報が多く、さらに、個別の計測には数百万円程度の高額な費用が必要となるため、最新の情報が要求される現状の需要を満足するのは難しい。加えて、整備されている地形計測データは、需要が多い都市部が中心で、特定の河川や山間部といった小範囲計測の要求に応え難い。一般的な1/2500の地図をベースにした50mメッシュデータ等では、補

強工事の施工方法検討や土砂崩れ発生時の土砂量の推定といった用途には、絶対的な精度が不足する。また、堤防のような定期的な保守を目的にした計測では、前回の計測結果と比較する登録データが必要であるが、1/500（絶対精度で25cm）以下の地図精度が必要であり、安価で高精度な地物の計測手段が求められている。

一方、マイクロプロセッサ、GPS、慣性センサ等の技術的進歩により、無人飛行ロボット（UAV: Unmanned Aerial Vehicle）の自律飛行が可能となり、近年、各研究機関・企業において、研究・開発が盛んに行われている。UAVには、有人機と同等な大きさを有す

るものから、超小型の飛行体まで様々なサイズ・用途のものが存在するが、その中でも、数 kg 級の手投げにより離陸が可能なサイズの固定翼型小型 UAV は、効率的な情報収集の手段として期待が高まっている。小型 UAV は非常に機動性が高いため、即座に人や車が直接入ることのできない危険な場所への自律飛行が可能であり、有人機に比べ低高度で飛べるため、高分解能の画像が得られ、さらに飛行にかかる時間的・経済的コストが安い。そのため、手軽に継続的な飛行が可能であるといった利点がある。しかし、数 kg 級の小型 UAV は積載可能なセンサの大きさ・重量の制限が非常に厳しく、従来は得られる情報が単なる画像に限定される場合が多く、実運用可能な情報収集システムの構築が困難であるという問題点があった。

2. 研究の目的

そこで、本提案では、複数の GPS と MEMS IMU、画像センサを複合させることで、UAV の位置姿勢を正確に計測し、さらに、複数 UAV の画像取得同期を GPS の精密時刻同期でとることで、複数の機体で撮影した画像群によるモーションステレオ視を実現する。つまり、小型 UAV の位置姿勢推定精度を大幅に向上させることで、ステレオ視の計測精度の向上を実現させ、低高度で飛行による測角精度に起因する計測誤差の軽減を活かすことで、汎用的なデジタルカメラでも、航空測量と同等の精度で計測が可能にする。加えて、地理情報システムへ統合し、計測データの検索・描画、時系列解析を可能にするシステムの構築を行う。また、レーザレンジファインダに対してステレオ画像方式は、画像テクスチャも同時に取れるので、高精細のテクスチャマッピングされた三次元モデルを生成することができ、目視でもわかりやすいのは勿論、植生観測等にも活用できる。その結果、最新の情報の解析を、地理情報システムを通して可能になるため、計測データの検索・描画、時系列的な複数回のデータ解析による変化領域抽出が実現し、崖や堤防の保守・点検や大型土木工事の出来形確認、植生観測等に、小型 UAV が応用可能になると考えられる。

3. 研究の方法

本研究では小型 UAV を用いて空撮した画像から、ステレオ視により地物の高精度計測を目指す。これを実現するために、以下の内容で研究を行う。

- (1) GPS と画像センサによる高精度位置推定
 小型 UAV は搭載重量の関係から、小型軽量の GPS、GYRO を用いている。さらに GPS は単独測位で位置を求めているため、GPS、GYRO のそれぞれの精度は、GPS の位置の

精度が 3[m] ~ 10[m]、GYRO の角度の精度が 1 ~ 5[deg]程度であると考えられる。このため、高精度の三次元計測を行うには正確なカメラの位置・姿勢が求められるため、小型 UAV を用いてモーションステレオを行うには、機体搭載センサから得られる位置・姿勢を何らかの手法で補正する必要がある。本研究では搭載センサの自己位置・姿勢補正に、GCP(Ground Control Points)と特徴点追跡による位置・姿勢補正という手法を用いる。(図1)GCPとは三次元位置が既知の特徴点であり、これを画像上に再投影し、実際に画像上で観測される特徴点位置との差(再投影誤差)の二乗和を最小化することでカメラの位置・姿勢を推定する。

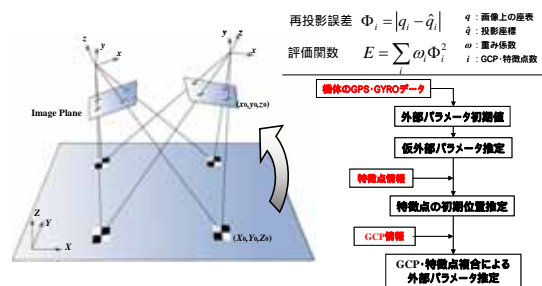


図1 画像センサによる位置・姿勢推定

- (2) 小型 UAV フォーメーションフライトによる撮影画像シミュレーション

小型 UAV による計測飛行は、実験の規模が大きいことから多くの回数を行うことは見込めない。そのため、小型 UAV による地物の計測システムを効率よく開発するために、シミュレーションにより撮影画像の模擬を行う。また、飛行前には地物の観測のための詳細な経路計画を行う必要があるが、小型 UAV は大きくバンクしながら旋回するため、搭載したカメラも機体に併せてバンクしてしまい適切な経路設定が難しい。そこで、計測の目標とする地物を効率よく撮影を行うための、小型 UAV の空撮画像シミュレーションを行う。具体的には、機体の運動をモデル化し、GIS ビューアである Google Earth を用いて小型 UAV の自律飛行シミュレーションと、撮影画像のシミュレーションを行う。

- (3) モーションステレオ視による三次元計測手法開発

モーションステレオとは、移動体に搭載された1台のカメラから撮影した時系列画像を用いて、その画像間の視差から二眼ステレオと同様に対象物までの距離を計測する手法である。図2に小型 UAV を用いたモーションステレオの概要と、その座標系を示す。モーションステレオではカメラ撮像間距離であるベースラインが任意に選択可能であり、近距離物体から遠距離物体までの広い範囲

での距離計測が可能である。また、二眼ステレオのようなカメラ間アライメントが不必要であり、単眼カメラであるため小型かつ安価な装置により距離計測が可能である。

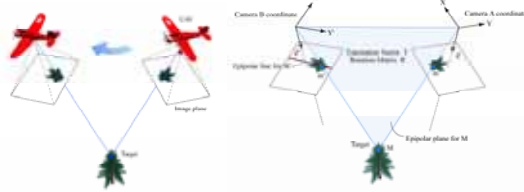


図2 ステレオ視による三次元計測

4. 研究成果

(1) GPS と画像センサによる高精度位置推定

図3にGPS/INS複合航法により推定した位置・姿勢を基に、小型UAVによる連続空撮写真を地表面に投影したものを示す。図3中のプロットは、GPS/INSにより出力された機体の位置・姿勢を表している。

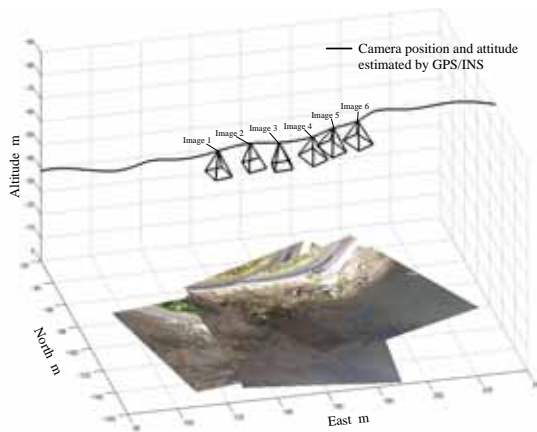


図3 機体搭載センサによる位置姿勢

図3より確認できるように、機体搭載センサによる位置姿勢を用いて地表面上に投影した場合には、画像が正確に重ならないことが分かる。これは、GPS/INSにより出力された位置・姿勢は自律飛行に適用するには十分な精度であるが、精密な測量に適用するには不十分であることを示している。そこで、精密な測量を目指したUAVの正確な位置・姿勢の補正のため、三次元位置が既知または未知の特徴点に対する、画像上での投影位置の誤差を最小化を行う。この際にカメラの位置・姿勢の初期値が必要になるが、初期値にはGPS/INSにより出力された位置・姿勢を用いる。また、小型UAVによる連続写真では対地高度が低いいため画像間のオーバーラップが小さく、位置・姿勢変化が大きいため、特徴点の画像間の移動量が大きく、その追跡が難しい。そこで、搭載センサによる位置・姿勢を用いて、連続画像間で特徴点の出現位

置を予測し、探索範囲を限定することでロバストな特徴点追跡を行う。提案した手法により、位置・姿勢を補正し、撮影した連続画像を地表面に投影した様子を示す。図4中の破線プロットは、補正した位置・姿勢を示す。以上のように位置・姿勢を補正することで、地表面に投影した画像が完全に重なり、補正が正確に行われていることが確認できる。

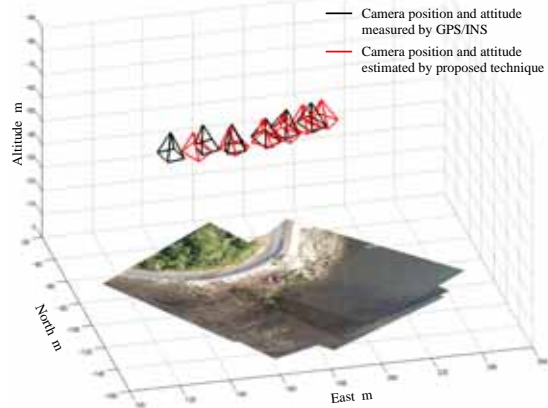


図4 開発手法による位置・姿勢推定補正

(2) 小型UAV計測シミュレーション

複数の小型UAVを運用する際に、効率よく地物の計測を行うために、事前に適切な飛行経路を設定する必要がある。そこで、Google Earthを用いた空撮画像シミュレーションを開発した。小型UAVの運動をモデル化する際に、本研究では小型UAV内部の重量分布やモーメントが考慮されない質点モデルを採用した。また、旋回時の機体の横滑りは考慮せず、ラダー操舵によってコーディネートすることで横滑り角は常に0[deg]と仮定した。以上の運動モデルをJavaScriptで記述し、Google Earth APIを用いてWebブラウザ上で動作する統合的なアプリケーションを開発した。開発したアプリケーションの画面を図5に示す。本アプリケーションではリアルタイムな小型UAVの飛行シミュレーションが可能である。画面の左上には小型UAVの後方からの視点を表示しており、小型UAVの3Dモデルが、シミュレーション結果の位置・姿勢に応じて表示される。図の左下に示す平面地図(Google Map)上での、リアルタイムなWPの変更・追加・削除が可能で、地図上に飛行軌跡を表示することができる。また、図の右側に示すウィンドウで、機体の位置・姿勢を用いた搭載カメラのシミュレーションを行っている。このようなインターフェースの実装により、簡便な操作で、複数台の小型UAVの飛行前に空撮画像シミュレーションが可能となり、地物の計測のための適切な経路の設定を行うことが可能になった。

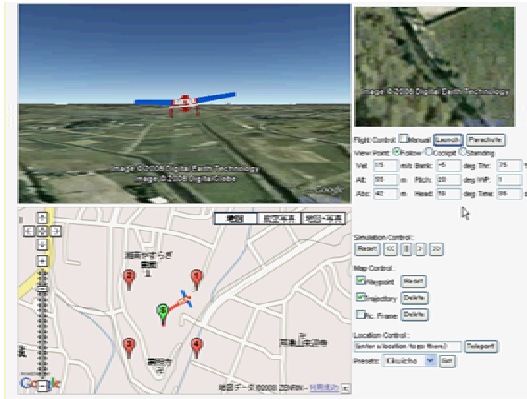


図5 UAV 飛行シミュレーション

(3) 小型 UAV による地物計測試験

神奈川県三浦半島において、小型 UAV により干潟の計測を行うことで、提案手法の評価を行った。小型 UAV の複数回の飛行により取得した空撮画像から、環境の三次元モデルの復元を行った。図6に UAV 空撮画像と試験環境の写真、図7に画像による位置姿勢補正の結果、ステレオ視により作成した干潟の三次元モデルを示す。これより、地形の凹凸や道路が、海岸線と比較して高くなっていることが確認でき、図6と比較して実環境が再現されていることが確認できる。本計測では、高度 80[m]からの計測を行い、平面分解能 20[mm]、奥行分解能 150[mm]という非常に高分解能の三次元計測を実現した。



図6 計測試験環境写真



図7 三次元モデル復元

以上により、複数台の小型 UAV を用いて取得した空撮画像により、高分解能な地物の計測に成功した。提案手法の応用により、崖や堤防の保守・点検や大型土木工事の出来形確認、植生観測等に、小型 UAV が利用可能になると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1 件)

鈴木太郎, 目黒淳一, 天野嘉春, 橋詰匠, 久保大輔, 土屋武司, 鈴木真二, 廣川類, 辰巳薫, 佐藤幸一, 瀧口 純一, 小型自律飛行ロボットを用いた災害時における情報収集システムの構築, 日本ロボット学会誌, 日本ロボット学会, vol.26 No.6, pp.553-560, 2008 査読有

[学会発表](計 3 件)

三好大地, 鈴木太郎, 目黒淳一, 天野嘉春, 橋詰匠, 鈴木真二, 實松洋平, 佐藤幸一, 瀧口純一, 山場淳史, 小型自律飛行機による植生観測手法の構築, 第9回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会, 岐阜, 2008

三好大地, 鈴木太郎, 目黒淳一, 瀧口純一, 佐藤幸一, 天野嘉春, 橋詰匠, 小型自律飛行機を用いた災害時のための実時間情報収集システムの構築, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 長野, 2008

Taro Suzuki, Daichi Miyoshi, Jun-ichi Meguro, Yoshiharu Amano, Takumi Hashizume, Jun-ichi Takiguchi, Real time Hazard Map Generation Using a Small Unmanned Aerial Vehicle, SICE Annual Conference 2008, Tokyo, 2008

6. 研究組織

(1)研究代表者

瀧口 純一 (TAKIGUCHI JUN-ICHI)

早稲田大学・理工学術院・准教授

研究者番号：50449344

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

天野 嘉春 (AMANO YOSHIHARU)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：60267474

橋詰 匠 (HASHIZUME TAKUMI)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：90103621