

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月 23日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22500181

研究課題名（和文） 無人ヘリコプタによる3次元視覚観測システムの研究

研究課題名（英文） Unmanned Helicopter 3D Observation System

研究代表者

森川 泰 (MORIKAWA YASUSHI)

独立行政法人産業技術総合研究所・知能システム研究部門・主任研究員

研究者番号：70358183

研究成果の概要（和文）：本研究では、ステレオのコンピュータビジョンを搭載した無人ヘリコプタを製作し、上空から地上を観測することにより高精度な3次元データを作成する研究開発を行った。ステレオビジョンに関してはヘリコプタによる撮影場所の移動を利用して高精度の3次元データを作成する技術を研究開発し、無人ヘリコプタに関しては3次元観測の為に位置姿勢を制御しながら自動或いは半自動で飛行する為の飛行制御技術を研究開発した。

研究成果の概要（英文）：In this study, a prototype unmanned helicopter with computer stereo vision was build, and the technology for creating precision 3D data using pictures from the air were studied. For the stereo vision system, the precision 3D data creating technology which uses the shooting point shift by unmanned helicopter was studied. For the unmanned helicopter, the flight control technology which is able to make the unmanned helicopter automatic or semi-automatic flight is studied to execute 3D observation.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

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：知能ロボット、コンピュータビジョン、飛行ロボット、制御

1. 研究開始当初の背景

現在、様々な用途への無人航空機（飛行ロボット）の応用が期待されており、世界中で研究が盛んに行われている。軍用ではかなり実用化が進んでいるが、民用の数少ない実用化例として農業の分野での産業用無人ヘリコプタがある。この無人ヘリコプタは基本的に遠隔操縦によって運用されるが、国内でこれまでに2000機以上販売されて、主に農業散布に利用されている。この産業用無人ヘリ

コプタに制御技術を用いて飛行させる研究開発も行われており、危険地域での情報収集への応用として噴火した火山の災害観測などを行っている。

一方、3次元視覚技術を用いて、環境の中に存在する物体とその状態、人物とその動作を3次元で認識することにより、危険や異常などの状況を的確に判断し、適切な情報や対策を提供し行動出来る次世代観測技術を開発することは、飛行ロボットの高機能化に貢

献し、人々への有用な情報の提供手段として大いに期待されている。その中でも GIS 分野はニーズが高く、空撮による大きな建造物や広域環境の詳細な 3 次元地図を作成することで、より高度なサービスや情報提供を可能とする次世代カーナビ、マンナビや防災システムの早期実現が求められている。有人ヘリコプタからレーザやミリ波を使って 3 次元測量するシステムの実用例はあるが、ライセンスであるが故に飛行経路による誤差を補正し、データ密度が低い故にデータを補完するなどの処理が必要であり、自動化出来ずに人手に頼っており、3 次元データの生成に何日も要している現状がある。

本研究所では、ステレオビジョンシステムである高機能 3 次元視覚システムの研究を行ってきた。この視覚システムは多様な状況で任意の形状の物体を対象として、距離計測、形状計測、物体認識、運動追跡などの処理を一貫的に実時間で高精度に実行出来ることを目指しており、他の視覚システムに比べて取り扱える対象物の範囲が広がる。また、ラジコンヘリコプタを改造して製作した無人ヘリコプタを自動制御で飛行させる研究も行ってきた。無人ヘリコプタは空中の任意の位置で静止や、任意の方向へ姿勢を保ったまま飛行出来る為、空中から画像を撮影するなど情報収集するのに適している。

そこで我々は、ステレオビジョンと飛行制御の技術を融合させる 3 次元視覚システム搭載自律型無人ヘリコプタの実現を目指して研究を進めてきている。これまでにマニュアル操縦の無人ヘリコプタを使って基礎研究を進めてきており、飛行する無人ヘリコプタからステレオカメラにより撮影して、その画像から 3 次元データを構成することに成功している。また、無人ヘリコプタの自律飛行については、これまでに野外に於いてコンピュータ制御により自動ホバリングさせるなどの基礎研究を行ってきた。

2. 研究の目的

我々は自律型無人ヘリコプタからの空撮により環境の 3 次元モデルを自動構築する高機能 3 次元視覚技術のアルゴリズムの解明と、単なる 3 次元データの表示だけではなく、環境の変化検出や特定ターゲットの探索及び認識も可能な革新的な 3 次元 GIS (電子地理情報システム) の基幹技術のアルゴリズムの研究開発を目指している。本研究では、距離計測をする為に複数台のデジタルカメラで構成されるステレオビジョンを搭載した無人ヘリコプタシステムの製作し、飛行制御された無人ヘリコプタにより移動してステレオカメラで多地点において撮影した画像データから遠距離の大型対象物の高精度

な 3 次元データを構築するラージスケールステレオ法 (LSS) のアルゴリズムに関する研究を行うことを目的としている。

3. 研究の方法

我々は自律型無人ヘリコプタからの空撮により環境の 3 次元モデルを自動構築する高機能 3 次元視覚技術のアルゴリズムの解明と、単なる 3 次元データの表示だけではなく、環境の変化検出や特定ターゲットの探索及び認識も可能な革新的な 3 次元 GIS (電子地理情報システム) の基幹技術のアルゴリズムの開発を目指している。

ステレオビジョンシステムに於いて、ステレオ法による距離計測の精度はカメラ間距離 (基線長) に依存するので、ヘリコプタに搭載するステレオビジョンの基線長は短い為、遠距離での計測誤差は大きくなる。そこで、遠距離での計測を高精度化する為に、撮影場所を移動することにより基線長を長くする方法がラージスケールステレオ法である。だがその為には、ステレオカメラによって同一対象物を連続的に注視追跡する機能、或いは非連続であっても同一対象物を探索して認識する機能、そして位置姿勢情報から移動前後のカメラパラメータを推定する機能等の開発が課題となる。そこでまずは同一対象物を異なる視点で撮影したステレオ画像を用いて、画像の特徴点などを利用して画像間の対応をプログラムにより自動的に求めるアルゴリズムと、その対応から無人ヘリコプタの移動パラメータをプログラムにより自動的に推定するアルゴリズムの研究を行った。次に無人ヘリコプタにより移動した時の移動パラメータをステレオカメラパラメータとして、視点の異なる画像から対象物の 3 次元データを取得するアルゴリズムと、同一対象物に対して別々に構成した複数の 3 次元データを誤差評価に基づいて統合するアルゴリズムを研究した。また、GPS や機体の姿勢センサなどからの位置姿勢データを移動パラメータの近似値として利用し、撮影画像間の対応から正確な移動パラメータを推定するアルゴリズムの研究を行った。

自律型無人ヘリコプタについては、振動の少ないホビー用の電動ラジコンヘリコプタをベースにし、これにボードコンピュータや姿勢センサ、GPS 受信機などを搭載して自律型無人ヘリコプタシステムを製作した。更に小型デジタルカメラユニットと画像処理用ボードコンピュータからなるステレオビジョンシステムを製作し搭載した。ベースとするラジコンヘリコプタは 10kg 程度の搭載能力が見込める為、自律飛行に必要な機器とステレオビジョンシステムを合わせて重量を 10kg 以下にする必要があったので、小型軽量の搭載機器を開発した。また実験を実施し易

くする為と安全を確保する為にマニュアル操縦と自動操縦を切り替えられるシステムにし、飛行実験中に問題が発生した場合にいつでもマニュアル操縦に切り替えて着陸させて実験を無事終了させられるシステムにした。飛行制御技術については、これまでに無人ヘリコプタの研究で開発してきたPID制御をベースとする制御アルゴリズムで実現可能と考えていたが、ラージスケールステレオ用にブレのない高画質の画像を得る為に低振動で精密に飛行制御する必要があり、問題点の抽出と解明、そしてそれを解決する制御アルゴリズムを研究した。その後、自動ホバリングさせている状態から前後方向への低速飛行や横方向への低速飛行などの自律飛行をさせ、正確な目的位置まで移動する為の制御アルゴリズムを研究し実験を行った。ラージスケールステレオ法で空撮をする場合、機体の位置姿勢を正確に保持してホバリング出来ることが重要で、移動は低速でも正確に目的位置に飛行することが出来れば十分であり、自律飛行による高速飛行は行わなかった。

最終的には研究開発した技術やシステムを全て統合しラージスケールステレオ法を完成させ、ラージスケールステレオ法の検証実験を行った。

4. 研究成果

ステレオビジョンに関しては、まず無人ヘリコプタに搭載する基線長（カメラ間距離）の短いショートスケールステレオ法（SSS）に関する研究開発を中心に行った。このステレオ法がラージスケールステレオ法のベースとなる技術である。ステレオ法による距離計測には事前にターゲットの特徴（形状など）を指定、教示する必要があるが、それには予めターゲットの幾何モデルを用意する方法と、観測データからターゲットをGUIで指定しモデルを自動構築する方法があるが、本研究ではより汎用的なシステムとする為に観測データからターゲットを指定する方式でシステムを開発した。更に、ターゲットを探索する場合にGPSによる大まかな位置情報を与えるが、ターゲットの距離測定の要求誤差に基づいて、ヘリコプタの高度と方向を決定し、ターゲットを認識（発見）する為の最適なモデルの分解能と種類（テクスチャ、シェイディング、境界線）に応じた処理方法等を決定する必要があり、その為のアルゴリズムを研究開発した。

その後、デジタルカメラに小型軽量の姿勢センサとGPSアンテナを固定して一体化したステレオビジョンの実験装置を使って、地上でカメラを移動させながら画像と位置姿勢データを取得する実験を行い、ステレオビジョンシステムを移動させことによって長い

基線長を得るラージスケールステレオ法で3次元データを得るのに必要な精度で位置姿勢を特定出来るシステムを開発した。その結果、センサから得られる位置姿勢データが3次元データを作成するのに非常に重要であることが確認され、更に無人ヘリコプタの飛行制御と連動させた場合の位置姿勢制御の精度向上が重要技術であることが明らかになった。

また、ターゲットを捉える方法については、注視しながら移動する方法と移動後にターゲットを再度捉える方法について検討した結果、一長一短があるが、注視しながら移動する方法を中心に研究を進めた。ただし、ターゲットを見失う可能性もあるので、より実用的なシステムにする為にはターゲットを再度捉える技術も取り込んで行く必要があることが明らかになった。

自律型無人ヘリコプタに関しては、まず電動ラジコンヘリコプタをベースとする全長が約1.5m、重量が約5kgの実験機の製作と、操縦モードの切り換えに必要な制御信号切替装置の製作を行った。この制御信号切替装置は、ラジコン電波の1つの空きチャンネルを切り換え用に利用して、ラジコン送信機にあるスイッチで飛行中でも手動操縦と自動操縦の切り換えが出来る様になっている。この実験機に小型コンピュータなどの搭載機器やステレオビジョンシステムなどを搭載したが、各装置について極力小型軽量化した為、重量的に飛行に問題が無いことを確認し、機体の振動レベルも機体に取り付けた加速度センサで計測したが、電動で振動が少ないことから撮影を行うのに十分なレベルで問題ないことを確認した。

製作したこの電動ラジコンヘリコプタ実験機を自動制御する為の制御アルゴリズムの研究とソフトウェアの開発を行った。制御システムとしてはこれまでの実績があるPID制御をベースとしたものをまず開発し、ホバリングや低速飛行など基本的な飛行が出来ることを確認した。また、各センサの動作状況や記録されたデータについても検証し、妥当な値を示していることを確認したが、ステレオビジョンの3次元データの精度向上には更に位置姿勢データの精度を検証してデータ処理方法を研究し、より精度を高める必要があることが明らかになった。

また、空中から地上のターゲットの撮影を確実に行う為と、半自動で飛行制御する場合に容易に遠隔操縦出来る様にする為に、搭載カメラからの画像をモニターしながら操縦出来る機能も開発し、実験を行った。その結果、その有用性は確認されたが、モニター画像を広画角化や無線データリンクの通信速度の向上などにより画質を向上させる必要があることが今後の課題であることが明らか

かになった。

最終的にステレオビジョンシステムと無人ヘリコプタシステムを統合した結果、ラージスケールステレオ法による3次元データの構築は有用であることが明らかになったが、更なる高精度化には各要素技術の研究を今後も推進する必要があることが明らかになった。また、ステレオビジョンシステムにアクティブビジョン機能を追加したり、飛行制御によりロバストな制御方法を導入したりするなど、今後の研究課題も明らかになった。

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)

[学会発表] (計2件)

- ① 森川泰、3次元観測用無人ヘリコプタの搭載カメラによる遠隔操縦システム、日本航空宇宙学会第50回飛行機シンポジウム、2012年11月6日、新潟市
- ② 森川泰、富田文明、3次元観測用無人ヘリコプタの自動操縦システムの開発、日本航空宇宙学会第49回飛行機シンポジウム、2011年10月27日、金沢市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森川 泰 (MORIKAWA YASUSHI)
産業技術総合研究所・知能システム研究部門・主任研究員
研究者番号：70358183

(2) 研究分担者

富田 文明 (TOMITA FUMIAKI)
産業技術総合研究所・知的機能連携研究体・連携研究体長
研究者番号：90357575
(H22～H23)

(3) 連携研究者

河井 良浩 (KAWAI YOSHIHIRO)
産業技術総合研究所・知能システム研究部門・研究グループ長
研究者番号：80356831