

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 27 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23760200

研究課題名(和文)カメラスケジューリングを用いた飛行体制御

研究課題名(英文)Automatic Flight Control with camera scheduling

研究代表者

荒井 翔悟 (ARAI, SHOGO)

東北大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：80587874

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円、(間接経費) 990,000円

研究成果の概要(和文)：カメラの普及とその低価格化により、様々な用途の計測・制御に複数のカメラを利用する例が急増している。計測・制御性能の向上のためには、多数のカメラの使用が有効であるが、カメラから得られる画像の情報量は他のセンサと比較して多いため、情報処理量が膨大になる問題がある。この問題を解決する一つの方策は、各時刻で処理する画像を選択(センサスケジューリング)することである。本研究課題では、複数カメラによる飛行体制御に焦点を当て、カメラネットワークシステムに適用可能なスケジューリングアルゴリズムの構築と関連課題についての検討、及びカメラネットワークシステムを利用して小型飛行体の制御を行った。

研究成果の概要(英文)：Many types of control and measurement systems with cameras are prevailing with price reduction of cameras. To improve control performance or measurement accuracy, an effective solution is to equip with multiple cameras on the system. However, having multiple cameras in the system result in large data to process. Therefore it is necessary to process a large amount of information since data size obtained by cameras are larger than that by other type of sensors in most cases.

One of the approaches to solve this problem is to select images used for control dynamically at each time, which is called sensor scheduling. In this research, we have focused on automatic flight control with multiple cameras. We have proposed sensor scheduling algorithm for sensor network consisting of multiple cameras (we will call it camera network), considered related problems, and performed automatic controlling of a small RC helicopter with the camera network.

研究分野：機械工学

科研費の分科・細目：機械力学・制御

キーワード：センサスケジューリング 自動制御

## 1. 研究開始当初の背景

多種多様なカメラの普及とその低価格化により、人間の動作解析、ロボットアームの制御、移動体制御など、さまざまな計測・制御に複数のカメラを利用する例が急増している。計測・制御性能の向上のためには、多数のカメラの使用が有効であるが、カメラから得られる画像の情報量は他のセンサと比較して多いため、情報処理量が膨大になる問題がある。この問題を解決する一つの方策は、各時刻で処理する画像を選択 (センサスケジューリング) することである。

## 2. 研究の目的

本研究課題の第一の目的は、カメラから構成されるセンサネットワーク (以下、カメラネットワーク) におけるカメラスケジューリングアルゴリズムの構築、及びカメラネットワークシステムを利用して小型飛行体の制御を実現することにある。

この目的を達成するためには、飛行体制御に適したカメラネットワークシステムの構築、カメラネットワークスケジューリングの構築、風などの外乱に強い小型飛行体の制御系構築、多数のカメラの同期、もしくは非同期時にも飛行体の制御が可能なシステムの構築、カメラの適切な配置、などの興味深い理論・実験的な課題が存在する。

本研究課題の第二の目的は、こうした関連する課題に対する理論・実験的な検討を行うことにある。

## 3. 研究の方法

研究方法について、「4. 研究成果」と対応させて以下の5項目に分けて記述する。

### (1) カメラネットワークシステムの構築

カメラネットワークシステムを構築する。カメラとして Grasshopper, 小型無心通信カメラ MicroScope RC12, Web カメラを使用する。飛行体の誘導制御には、高フレームレートを有するカメラが不可欠だと考えられるが、高フレームレートは効果である。また、広い飛行空間をカバーするためには多数のカメラが必要になる。低フレームレートカメラは相対的に安価なので、多数のカメラを固定設置する。一方、高フレームレートカメラについて、本研究課題ではコスト削減のために、首振り機構を有するアクティブヘッドに高フレームレートカメラを設置することでカメラ台数の削減を図る。

### (2) 飛行体の制御系構築

飛行体として小型ラジコンヘリを使用する。小型ラジコンヘリは、その大きさに比して出力が小さいため風などの外乱に弱い。制御系の構築は重要な課題である。制御系

の構築は、以下に述べる二通りの方法で行う。マニュアル操作で飛行を行いデータを収集する。収集されたデータを元に、システム同定を行うことでモデルを導出し、導出されたモデルに基づき制御系を設計する。

一般にシステム同定によって必ずしも十分な精度を持つモデルが得られるとは限らない。こうした状況を想定して本研究課題では、制御系のモデルが得られない場合にも適用可能なカメラスケジューリングアルゴリズムの構築も行う。この計画に対応するため、制御系構築プロセスにおいてもモデルに基づかないPID制御ベースの制御系を構築する。実験によって外乱に対するロバスト性の確認を行う。

### (3) カメラスケジューリングアルゴリズムの開発と検証

カメラネットワークシステムにおけるセンサスケジューリングアルゴリズムを開発する。フィードバック制御系には制御対象の状態を観測するセンサが必要であり、センサとしてカメラが組み込まれた制御系はビジュアルサーボ系と呼ばれる。この制御系の制御方法としては主に、1. カメラで撮像された画像を元に制御対象の位置を計算し、その位置をフィードバックする位置ベースビジュアルサーボと 2. 位置を計算せずカメラで撮像された画像から計算された制御対象の画像特徴量をフィードバックする画像ベースビジュアルサーボの二種類が存在する。また、3-(2)で説明したとおり制御対象のモデルは同定可能な場合と困難な場合の二種類が一般には想定される。したがって、本研究課題では、想定される各々の状況に適用可能なカメラスケジューリングアルゴリズムを構築する。

### (4) 非同期/同期カメラネットワークシステム利用による小型ヘリコプタの飛行制御

使用するカメラ台数が増加するほど、それらのカメラの観測時刻の同期を達成するためには、より多くのコストが要求される。この問題について検討するために、カメラを同期した場合と同期しない場合 (非同期) で、システムの制御性能がどのように変化するかを理論、および実験の両面から検証する。構築されたカメラネットワークシステムを利用して、小型ヘリコプタのホバリング実験を行い、同期/非同期の双方の場合において、ホバリング精度によって制御性能を評価する。

## 4. 研究成果

本研究課題によって得られた主な成果を下記に項目別に記述する。

### (1) カメラネットワークシステム構築

研究の第一段階として、カメラネットワークを構築した。高フレームレートカメラと

web カメラを利用してシステムを構成した。当初は、飛行体制御に高サンプリングレートが必要であると考えていたため、高フレームレートカメラをシステムに組み込んだ。しかし、後に詳述するように低フレームレートのweb カメラのみで構成したカメラネットワークシステムによって飛行体制御が可能であることが判明した。このため、コスト削減のために予定されていた首振り機構を有するアクティブヘッドに高フレームレートカメラが装着されたアクティブビジョンシステムを実験では使用しなかった。

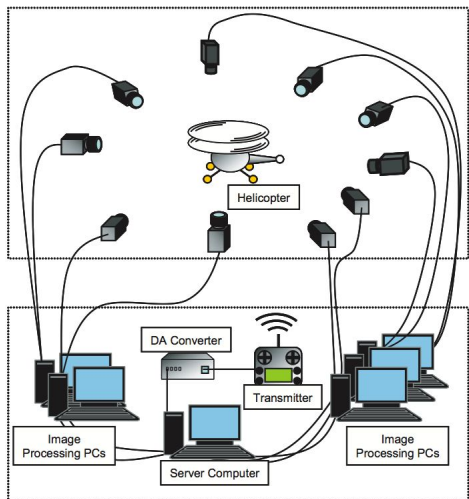


図1．カメラネットワークを利用した小型ヘリコプタの制御システム



図2．使用した web カメラの一例



図3．カメラ配置の一例

## (2) 飛行制御系開発

小型ヘリコプタの制御系の開発を行った。一般に、モデルベースの制御系は、その性能を理論的に検討しやすいという利点を持つが、モデル同定が困難であることも多い。そこで、本研究では、モデルベース制御系及び、

飛行体のモデルを仮定しないPID制御系を構築した。小型ヘリコプタは、その大きさに対しての最大出力が小さいため、一般にサイズが小さくなるほど風などの外乱に対するロバスト性が低下する。本研究では、風外乱に対しても安定したホバリングを達成可能な、PID制御に基づいた制御系の構築を行い、実験によってその有効性を確認した。



図4．風外乱下で飛行する様子

## (3) カメラスケジューリングアルゴリズム

制御対象である小型ヘリコプタの状態に応じて、使用するカメラを時々刻々決定するアルゴリズムを構築した。位置を計測することを想定した1. 位置ベースカメラスケジューリングアルゴリズムと画像特徴量を利用して制御を行うことを想定した2. 画像ベースカメラスケジューリングを構築した。

位置ベースカメラスケジューリングアルゴリズムは、研究代表者がこれまでに得られた研究成果を拡張して得られた成果である。

画像ベースセンサスケジューリングは、本研究課題で初めて提案したアルゴリズムである。このアルゴリズムでは、制御方法としては画像ベース制御法を想定した。4-(2)に記述したとおり、実問題においては、制御対象のモデル同定が困難であることも多い。そこで、画像ベーススケジューリングアルゴリズム構築にあたっては、モデルが得られないことを前提とした。図5と6に画像ベースセンサスケジューリングを利用した際のヘリコプタ制御に関する数値シミュレーションの一例を示す。このシミュレーションでは、200台のカメラから構成されるカメラネットワークが曲がり角を有する通路に設置されている。予め参照軌道に沿ってカメラを飛行させた場合に各カメラから観測されるヘリの画像特徴の軌跡を記録しておく。飛行時に、時々刻々小型ヘリコプタを撮影するカメラを切り替えることで、参照軌道への追従制御が可能であることを示した。図6は、画像ベースセンサスケジューリングを行った際の小型ヘリコプタの高さに関する軌跡を示している。なお、着陸・離陸シークエンス時はスケジューリングを行っていない。提案した画像ベーススケジューリング使用により他の方法と比較して高い精度で参照軌道への

追従が達成されていることを確認した。

以上に述べた通り、本研究課題では複数のカメラスケジューリングアルゴリズムを構築した。それぞれのアルゴリズムは、1. 使用する制御則が位置ベース制御か画像ベース制御か、2. 制御対象のモデルが既知か未知か、の2つの要因を考慮して使い分ける必要がある。

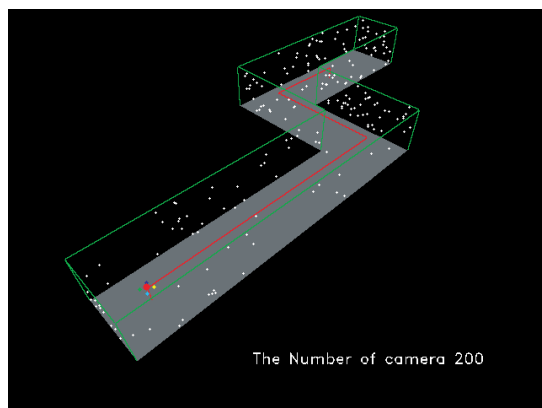


図5．数値シミュレーションにおけるカメラ配置とヘリの参照軌道

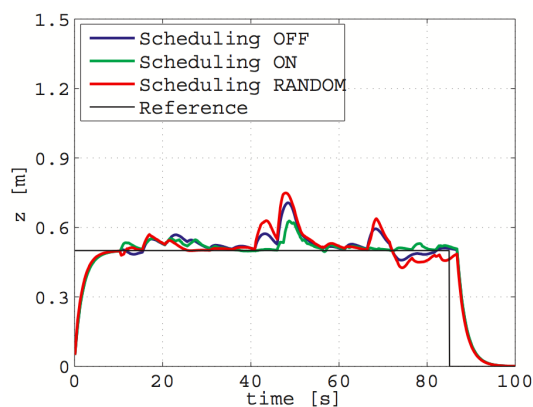


図6．画像ベースセンサスケジューリングを行った際のヘリの高さ方向の軌跡

(4) 非同期/同期カメラネットワークシステム利用による小型ヘリコプタの飛行制御

多数のカメラから構成されるネットワークセンサシステムでは、観測時刻を同期させて、対象の状態(位置・姿勢)を推定するアルゴリズムの開発に多大な尽力がなされてきた。しかし、同期には専用のプロトコルや装置を必要とし導入コストは高い。研究代表者は、この問題に対して、同期を行わない場合のほうが性能向上につながるケースが存在することを理論的に証明し、その条件をシステムパラメータを使って特徴付けた。本研究課題ではこの理論的成果に基づき、カメラネットワークシステムを利用して小型ヘリコプタの制御実験を行った。実験によって、1. 高フレームレートカメラを用いず 30fps の web カメラのみの利用で小型ヘリコプタの自動制御が可能なこと、2. 使用する Web カメラを時々刻々切り替えても飛行が可能であ

ること、3. 同期カメラシステムより非同期カメラシステム利用時のほうがホバリング時の安定性が増大することを確認し、理論的な成果を裏付けることに成功した。

理論的な検証段階では、問題の簡単化のため2台のカメラから構成されるカメラネットワークシステムを仮定した。数値シミュレーションによってカメラの台数が増加した場合においても、理論解析の結果と同様の傾向が現れることを確認した。

## 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)

[雑誌論文](計2件)

Shogo Arai, Yasushi Iwatani, and Koichi Hashimoto. Fast sensor scheduling for spatially distributed sensors. IEEE Trans. on Automatic Control, Vol. 56, No. 8, pp. 1900-1905, 2011. (査読有)

Shogo Arai, Yasushi Iwatani, and Koichi Hashimoto. A condition for better estimation using asynchronous sampling than synchronous sampling. SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol. 4, No. 3, pp. 249-253, 2011. (査読有)

[学会発表](計6件)

Shogo Arai, Pudith Sirigrivatanawong, and Koichi Hashimoto, Control of Water Resource Monitoring Sensors with Flow Field Estimation for Low Energy Consumption, IEEE International Conference on Control & Automation, 20th June, 2014. (査読有)

Pudith Sirigrivatanawong, Shogo Arai, and Koichi Hashimoto, Lake Monitoring Sensors Distribution with Low Energy Consumption, IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, Shenzhen, China, 14th December, 2013. (査読有)

Yoshikazu Furusawa, Shogo Arai, and Koichi Hashimoto. An RC Helicopter Autonomous Control System with Single Web Camera. pp. 2127-2132. In SICE Annual Conference 2012, Akita Japan, 23th August, 2012. (査読有)

Tong Ye, Shogo Arai, and Koichi Hashimoto. Autonomous Flight Control of RC Helicopter with Wind Disturbance. pp. 2133-2138. In SICE Annual Conference 2012, Akita Japan, 23th August, 2012. (査読有)

Shogo Arai, Tong Ye, and Koichi Hashimoto, Control Performance Comparison of Asynchronous and Synchronous Sensor System in UAV Applications. pp. 359-365. In IEEE International Conference on Mechatronics and Automation 2012, Chengdu China, 6th August, 2012. (査読有)

古澤良和, 荒井翔悟, 橋本浩一. 縦方向外乱を考慮した RC ヘリコプタの自律飛行. ロボティクス・メカトロニクス講演会, 浜松, 5.21, 2012.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

荒井 翔悟 (ARAI, SHOGO)

東北大学・大学院情報科学研究科・助教

研究者番号：80587874