

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 6月 4日現在

機関番号：11101

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22760309

研究課題名（和文） モデル予測アクティブセンシング手法の体系化

研究課題名（英文） Systematization of active sensing based on model predictive control

研究代表者

岩谷 靖（IWATANI YASUSHI）

弘前大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：10400300

研究成果の概要（和文）：センサの位置・姿勢などのセンサシステムの状態を能動的に制御しながら行うセンシングをアクティブセンシングと呼ぶ。アクティブセンシングは、観測空間を拡大するだけでなく、多様な計測環境に柔軟に対応可能である特徴を持つ。本研究は、アクティブセンシングの概念とモデル予測制御の理論と技術を統合化し、動的に変化する環境情報を効率的に取得するための能動的情報処理手法を体系化した。

研究成果の概要（英文）：Active sensing is a sensing method that performs sensing under control of sensor systems' states such as locations and postures of sensors. Active sensing provides wide-range and flexible sensing, and it has various sensing applications. This research integrates the concept of active sensing and the technology of model predictive control, and systemizes a dynamic information processing method to obtain dynamical environmental information.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・制御工学

キーワード：制御理論，アクティブセンシング，計測工学，モデル予測制御

1. 研究開始当初の背景

センサシステムの状態（センサの位置・姿勢など）を能動的に制御しながら行うセンシングをアクティブセンシング（能動計測）と呼ぶ。アクティブセンシングは、観測空間を拡大するだけでなく、多様な計測環境に柔軟に対応可能である特徴を持つ。例えば、カメラ姿勢が可変な能動カメラは、固定カメラと比較して観測領域が拡大される。また、多数のセンサノードを配置したセンサネット

ワークでは観測値の空間情報を得ることができるが、センサネットワークにおけるセンサスケジューリングもアクティブセンシングの一つと捉えることができる。

一方で、アクティブセンシングの議論は個々のシステムに対する議論が行われるにとどまっており、統一的な理論・手法は存在しない。特に、アクティブセンシング問題は、センサシステムの状態をいかに制御するかを議論する制御問題であるにも関わらず、こ

れまで制御の観点からこの問題が議論されてこなかった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、(1) アクティブセンシング問題を制御問題(アクティブセンシング鮮魚問題)として定式化すること、(2) アクティブセンシング制御問題の適切な解法を提示すること、(3) 実応用例を通して、提案手法の有用性を示すこと、の三つに分けられる。以下に具体的に記述する。

(1) アクティブセンシング問題に制御の視点を導入すると、アクティブセンシングシステムは、観測方程式に制御変数が非線形に含まれるシステムと捉えることができる。本研究の第一の目的は、この非線形システムに対して適当な目的関数を設定することでモデル予測制御問題(アクティブセンシング制御問題)として定式化することにある。

(2) モデル予測制御は、予測時間が長くなると計算時間が増大し、実時間応用に適さない場合がある。本研究の第二の目的は、定式化したアクティブセンシング制御問題の解を適切に得るためのアルゴリズムを構築することである。

(3) 移動カメラを利用した分散視覚ネットワークにおいて、構築したアルゴリズムの有効性を確認する。

3. 研究の方法

まず理論的なアプローチとして、研究代表者がこれまでに扱ってきたアクティブセンシング問題を基礎として、それらを一般化したアクティブセンシング制御問題を定式化する。この定式化では、観測方程式にアクティブセンシング問題特有の非線形性・オンオフ性、および順位付けされた複数目的関数(例えば、第一目的にトラッキング、第二目的に高分解能性)を導入する。つぎに、定式化されたアクティブセンシング制御問題に対して、モデル予測制御手法を適用することでその解を得る手順を体系化する。特に、問題の構造を解析することで、単に解を得るだけでなく、実時間に解を得ることが可能な実用的なアルゴリズムを開発する。

また、実用例として、固定カメラ、姿勢のみ可変な能動カメラ、移動体に搭載され三次元位置・姿勢が可変な移動カメラをネットワーク結合した分散視覚・部分アクティブネットワーク制御系を構築し、提案手法の有用性を検証する。

4. 研究成果

まず、理論的な成果として、アクティブセ

ンシング制御問題を二種類の方法で定式化し、その解法を導出した。

一つ目は、動力学モデルに基づく定式化である。このモデルに基づく制御問題はモデル予測制御により解を得ることができるが、一般にモデル予測制御問題の予測時間が長くなると制御信号の導出に時間が掛かるため、実時間制御に適さない。これに対して、本研究では、高速に解を得ることが可能な近似解法も併せて提案した。高速解法は、アクティブセンシング制御問題の定式化において、「センサの種類」という概念を導入することによって達成される。計算時間は、高速解法を用いない場合、センサ数に対して組み合わせ的に増加するが、高速解法ではセンサの種類数に対して組み合わせ的に増加する。センサ数はセンサ種類数よりも少ないので、計算時間を減じることができる。特にセンサ種類数が1の場合は、組み合わせ的な計算時間の増加は起こらない。複数目的関数には、コストの重みづけや切り替えで対応することになる。

二つ目は、運動学モデルに基づく定式化である。この定式化では、アクティブセンシング制御問題を、1ステップモデル予測制御問題として定式化した。運動学モデルに基づくため、ビジュアルサーボ問題を含むロボット制御問題と親和性がある。特にビジュアルサーボ問題においては、画像ヤコビ行列が制御に重要な役割を果たすが、複数カメラによるビジュアルサーボ問題において、画像ヤコビ行列の組み合わせによる効果を解析し、アクティブセンシングに適した画像ヤコビ行列の組み合わせ方法を示した。また、複数目的関数には、冗長マニピュレータの手法を用いて対応できることを示した。

また、分散視覚・部分アクティブネットワーク制御系を図1のように構築し、提案手法の有効性を検証した。この制御系は、固定カメラ、パン軸(水平面におけるカメラの撮影方向)を制御可能な能動カメラ、小型ヘリコプタに下向きに搭載した移動カメラ(図2)より構成される。固定カメラと能動カメラは有線で、移動カメラは無線でネットワーク結合される。飛行初期(図1上)は移動カメラに有効なマーカを検出できないため、固定カメラと能動カメラを使用して制御しなければならない。移動後(図1下)は移動カメラに有効なマーカを使用可能であるが、撮影目標近傍は固定カメラの視野外である。また、移動後は、初期角度の能動カメラからは視野外であるが、姿勢変化することで能動カメラ視野内に収まる。すなわち、固定カメラ、能動カメラ、移動カメラがそれぞれ強調して動作しなければならない環境を設定した。この環境において、提案手法が適切な協調制御を達成し、アクティブセンシング制御問題を解

決することを確認した。図1は、提案アルゴリズムを実際に適用した結果得られた例である。

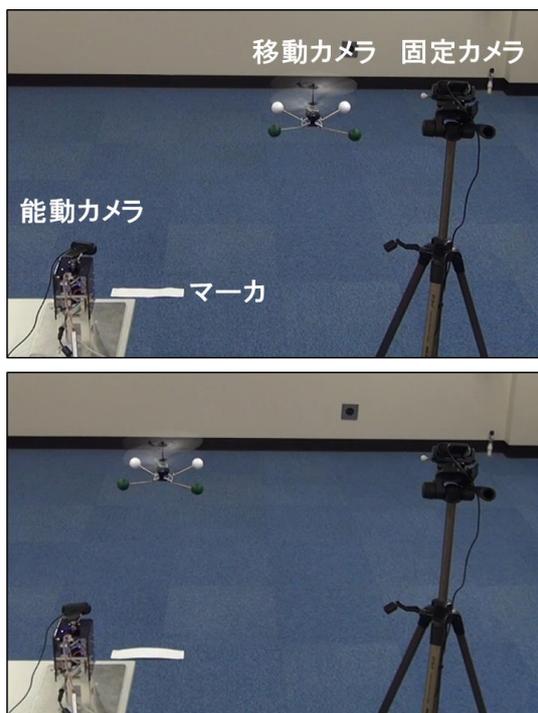


図1：分散視覚・部分アクティブネットワーク系の制御（上図：固定カメラと能動カメラによる情報取得・制御，下図：移動カメラと能動カメラによる情報取得・制御）

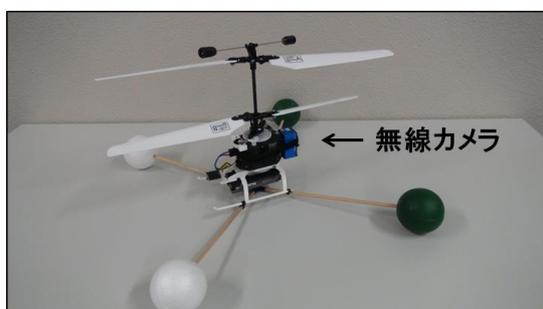


図2：小型無線カメラを搭載した小型ヘリコプタ

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4件）

- ① 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.

- ② 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.
- ③ Yasushi Iwatani, Shogo Arai, and Koichi Hashimoto. Stability of switched stochastic systems in discrete-time. SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol. 3, No. 5, pp. 368-371, 2010.
- ④ Yasushi Iwatani. Task selection for control of active vision systems. IEEE Trans. on Robotics, Vol. 26, No. 4, pp. 720-725, 2010.

〔学会発表〕（計6件）

- ① 沼田拓也, 久保田祐樹, 岩谷靖. 小型ヘリコプタのマーカレス高信頼ビジュアルサーボ. 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 浜松, 2012年5月29日.
- ② Yuki Kubota, and Yasushi Iwatani. Dependable takeoff and landing control of a small-scale helicopter with a wireless camera. In 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp. 1279-1284, Phuket Island, Thailand, December 9, 2011.
- ③ Yuki Kubota, and Yasushi Iwatani. Dependable visual servo control of a small-scale helicopter with a wireless camera. In the 15th International Conference on Advanced Robotics, pp. 476-481, Tallinn, Estonia, June 22, 2011.
- ④ 久保田祐樹, 岩谷靖. 無線カメラを有する小型ヘリコプタの高信頼ビジュアルサーボ: 離着陸制御系の設計. 計測自動制御学会東北支部第265回研究集会, 弘前, 2011年6月28日.
- ⑤ 久保田祐樹, 岩谷靖. 無線カメラを有する小型ヘリコプタの高信頼ビジュアルサーボ. 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 岡山, 2011年5月27日.
- ⑥ Shogo Arai, Yasushi Iwatani, and Koichi Hashimoto. Fast sensor scheduling with communication costs for sensor networks. In American Control Conference, pp. 2785-2790, Baltimore, USA, June 30, 2010.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.mech.hirosaki-u.ac.jp/~iwatani/research.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩谷 靖 (IWATANI YASUSHI)

弘前大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：10400300