

機関番号：12608

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009 年度 ～ 2010 年度

課題番号：21760322

研究課題名 (和文) センサネットワークにおける分散意思決定と状況認識

研究課題名 (英文) Distributed Decision Making and Situation Awareness in Sensor Networks

研究代表者

畑中 健志 (HATANAKA TAKESHI)

東京工業大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号：10452012

研究成果の概要 (和文)：本研究は、センサネットワークを対象として、意思決定や状況認識という概念を制御理論の立場から考察することを目的としたものである。状況認識に関しては、ビジュアルセンサネットワークの協調推定問題を独自に考案し、従来研究を進展させることで新規の解法を提示した。意思決定に関しては、まず当初の計画通り、分散タスク切替アルゴリズムを独自に考案し、その後ゲーム理論とランダム化アルゴリズムを融合することで、新規の学習・意思決定アルゴリズムを提案した。以上の成果は全て国際会議や国内学術雑誌に掲載決定済みであり、かつ発展・拡張したものを国際ジャーナルに投稿中である。また、以上の成果を検証するためのセンサネットワークの実験システムを構築し、その検証結果は国内外から高い評価を得た。

研究成果の概要 (英文)：

In this project, we have investigated decision making and situation awareness for sensor networks from a viewpoint of control theory. In terms of situation awareness, we have formulated an original cooperative estimation problem for visual sensor networks and presented a novel solution to the problem by extending results of our previous works. We also have presented a unique distributed task-switching algorithm for robotic sensor networks according to the initial schedule. Then, we also have presented a novel learning algorithm for decision-making by fusing randomized techniques and game theory. All of these results have been already accepted for publication for domestic journals and for presentation at international conferences. In addition, their sophisticated versions are submitted to international journals. We have also built a testbed of a sensor network system for verification and the results are highly appreciated by the domestic and foreign researchers.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2010 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

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：意思決定、状況認識、センサネットワーク、協調制御、ランダム化アルゴリズム

1. 研究開始当初の背景
本研究で扱う問題は、近年活発な研究が行わ

れている協調制御問題に関連するが、概念的にはその上位に位置する制御問題であると

いえる。研究開始当初、海外ではこの種の研究が大規模なプロジェクトとしてすでに始動しており、まさに外向けへの研究発表が始まろうとしているところであった。翻って、国内の準備状況では海外のそれに比べて大きく立ち遅れていた。そこで、本プロジェクトでは、海外の研究は参考にしつつも、申請者個人のそれまでの研究内容を融合することで独創性を狙った。

2. 研究の目的

本研究は、センサネットワークを対象として、意思決定や状況認識という概念を制御理論の立場から考察することを目的としたものである。このような問題に対する解答を過去の制御理論は持ち合わせておらず、制御理論に新たな貢献の可能性を目指したものである。また、理論研究のみならず、実際にセンサネットワークシステムを構築し、上記の理論の検証も目的に組み込んだ。

具体的に取り組んだ課題は以下の4項目である。

(i) 分散タスク決定機構の提案

状況に応じて実行すべきタスクを切り替える機構を設計することを目的とする。制御系概念図を図1に示す。本図における“タスクマネージャ”と記載されたブロックが設計対象である。本課題は発見的な手法の提案に終始する可能性があるが、ここでの主目的は理論的な保証を有するアルゴリズムの提案にある。

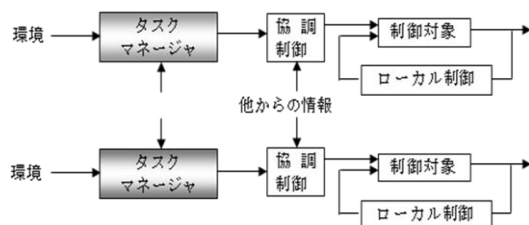


図1：タスク切替機構

(ii) ビジュアルセンサネットワークの協調推定アルゴリズムの開発

本課題は分散状況認識アルゴリズムの開発の一環として、ビジュアルセンサネットワークにおける協調推定問題を対象とし、これを可能にする推定アルゴリズムの提案を目指したものである。提案アルゴリズム適用時の性能に関する理論解析に加えて実際にビジュアルセンサネットワークシステムを構築した上での有効性検証までを本課題の目的とする。

(iii) ゲーム理論的学習アルゴリズムの開発

本課題は意思決定問題を集団におけるゲームであると捉えた上で、そのゲームにおける最適な意思決定アルゴリズムを新たに提案することを目的とする。ここでも発見的な

手法の提案ではなく、理論的な保証を有するアルゴリズム開発を目指し、加えて実験検証およびシミュレータの開発までを目指したものである。

(iv) 実験システムの構築

上記課題(ii), (iii)の有効性検証のためのビジュアルセンサネットワーク・ロボティクスセンサネットワークシステムの構築を目的とする。

3. 研究の方法

当初は下記の項目(i), (ii), (iv)への取り組みを予定し、初年度に(i), (iv), 次年度に(ii), (iv)を実施する計画であった。初年度はおおよそ計画通りに進んだが、(i), (iv)を終了した時点で、協調推定問題の着想、ゲーム理論との融合のアイデアの着想を得ることができたため、当初の予定を上回る成果をあげることに成功した。

● 課題(i)に関して

本課題においては、まず問題設定の決定が重要となる。類似の問題は国内外問わず取り組みがなされていないため、これを独自に考案することとした。具体的には探索アルゴリズムから被覆アルゴリズムへの切替を想定し、エージェント間で第一タスクの終了に関する情報のやりとりを仮定する問題設定を採用した。

次に、設定した問題における意思決定アルゴリズムの提案が必要となるが、ここで合意プロトコルと呼ばれるエージェント間の協調制御手法を本問題にカスタマイズすることでエージェント間の理想的な交渉を実現するアルゴリズムを提案した。さらに、本アルゴリズムを用いることで、タスク切替時刻が全エージェントで同期することを示し、さらにその達成までに要する時間を理論的に導出した。最後に、有効性検証のためのシミュレータを独自に開発し、本アルゴリズムが確かに有効に機能することを確認した。

● 課題(ii)について

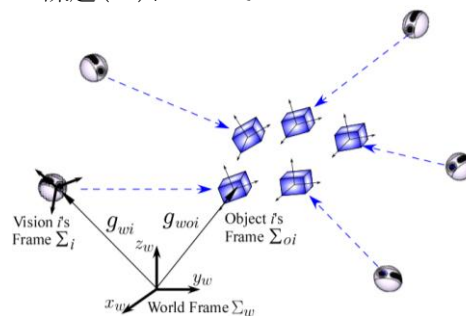


図2：協調推定問題

本課題においても、まず問題設定の決定が重要となる。課題(i)とは異なり、類似の機能を目指した研究が主に海外において報告されていたため、それらを参考にしつつ、申請者のこれまでの研究成果を加味して、図2の状況を考えることとした。すなわち、複数

のカメラがターゲットの集団を捉えている状況において、集団の平均的な挙動を画像データから分散的に推定する。次に、近年海外において注目を集めている分散最適化アルゴリズムとこれまでの申請者の研究成果である視覚オブザーバの理論を融合させることで、協調推定アルゴリズムを新規に提案した。さらに、提案アルゴリズムの適用時における推定精度に関して理論結果を導出した。証明には、過去に剛体群の位置姿勢同期問題に利用したテクニックを援用した。さらに、ビジュアルセンサネットワークシステムを実際に構築し、提案アルゴリズムの有効性を示した。

● 課題(iii)について

初年度終了時、協調制御の分野においてポテンシャルゲームとよばれる特別なゲーム理論が協調制御における各エージェントの意思決定問題に有用であること、障害物等の環境情報を問題に組み込むことで従来の方法では実現できない挙動を実現できることが海外において注目を集めていたため、本アプローチに着目し、新たな意思決定アルゴリズムの考案を目指した。特に、環境情報を設定に組み込む本アプローチですら、ある程度の事前情報を前提とするため、環境変化に対する適応性が不十分であることに注目し、その事前情報すらも必要としない意思決定アルゴリズム PIPIP(Payoff-based

Inhomogeneous Partially Irrational Play)を新規に開発した。これにより、未知の環境におけるロボットセンサの最適配置問題など、従来の協調制御はもちろんのこと、ポテンシャルゲーム理論を利用してなお未解決の問題を解決することに成功した。さらに、摂動マルコフ連鎖と抵抗木という主に経済学で利用される新たなテクニックを利用することで、最適な行動選択が実現されることを証明した。さらに、実験システムを構築し、その有効性を示すとともに、多様な協調制御

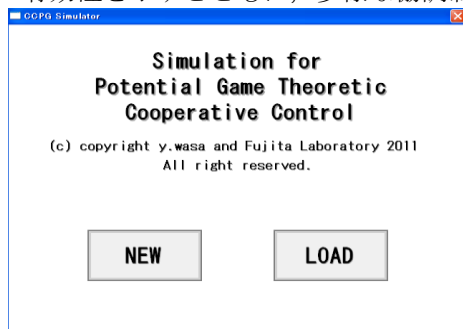


図3：ポテンシャルゲームシミュレータ問題と学習アルゴリズムをシミュレートできるシミュレータを開発した(図3)。

● 課題(iv)について

まずは、課題(ii)に関連してビジュアルセンサネットワークシステムを構築した(図

4)。まずは所属研究室のこれまでの実験ノウハウを援用して、単一の計算機において全カメラの情報を処理する擬似的な分散ネットワークを構築した後、新たな試みとして無線通信を用いた真の分散推定システムを完成させた。次に、ロボティクセンサネットワークシステムとしてカメラを搭載した複数の全方向移動ロボットを自由に制御するシステムを構築した(図5)。

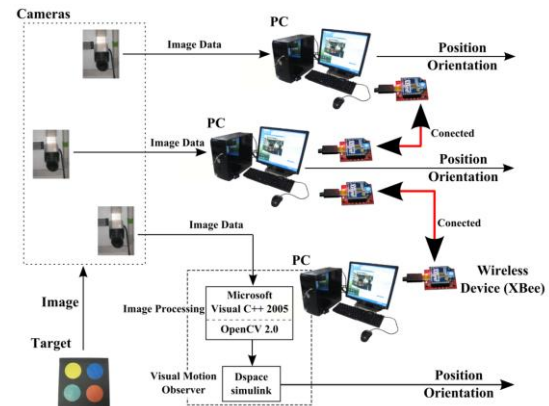


図4：ビジュアルセンサネットワーク

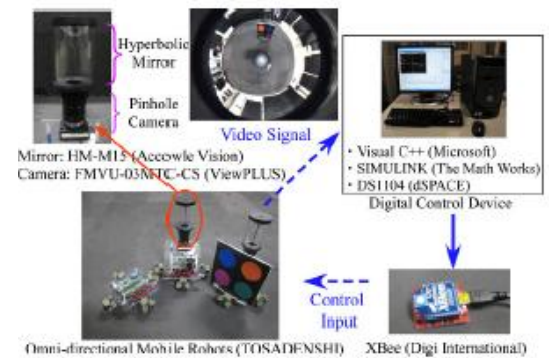


図5：ロボティクセンサネットワーク

4. 研究成果

● 課題(i)に関して

本課題では、理論保証付きのタスク切替アルゴリズムを新規に提案することに成功した。本成果は国際会議論文として採択され、発表学生が Best Presentation Paper Award を受賞するなど、国内外から上々の評価を受けた。

● 課題(ii)に関して

本課題では、ビジュアルセンサネットワークシステムにおける新たな協調推定問題を定式化し、その解を導く協調推定アルゴリズムを理論結果とともに提示することに成功した。本研究内容は既に複数の国際会議論文に採録され、加えて国内学術雑誌への掲載が決定されている。また、関連するテーマで国際会議におけるチュートリアルセッションという特別なセッションにおける発表の任を任された事実から、本研究の高い評価を得ているものと考えている。さらに、全ての成

果をまとめた論文を国際雑誌に投稿し、現在は審査中である。

● 課題(iii)に関して

本課題では、まずは姿勢協調問題をポテンシャルゲーム理論を用いて解くことに成功し、本結果は国際会議論文および国内学術論文誌にそれぞれ採録されている。その後、学習アルゴリズムPIPIPの開発と理論証明に成功し、本結果に関しては現在国際会議および国際学術雑誌への投稿準備中である。

● 課題(iv)に関して

ビジュアルセンサネットワークシステムとロボティックセンサネットワークシステムの構築に成功し、国際会議発表時に提示することで国内外の関連研究者から高い評価を得ている。

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8件)

① 後藤, 畑中, 藤田, “ポテンシャルゲーム理論的姿勢協調: 同期・平衡の達成,” システム制御情報学会論文誌, Vol. 24, No. 7, In Press, 2011, 査読有.

② T. Hatanaka and M. Fujita, “Passivity-based Cooperative Estimation for Visual Sensor Networks: Averaging of Multiple Target Objects Poses,” SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol. 4, No. 3, In Press, 2011, 査読有.

③ M. Saito, T. Hatanaka and M. Fujita, “Decision Dynamics in Cooperative Search Based on Evolutionary Game Theory,” Communications in Information and Systems, Special Issue on Control of Complex and Nonlinear Systems, Vol. 11, No. 1, pp. 57-70, 2011, 査読有.

④ R. Votal, D. A. W. Barton, T. Goto, T. Hatanaka, M. Fujita and J. Moehlis, “Equilibrium Configurations for A Territorial Model,” SIAM Journal on Applied Dynamical Systems, 2009, Vol. 8, No. 3, pp. 1234-1260, 2009, 査読有.

[学会発表] (計25件)

① T. Hatanaka, M. Fujita and F. Bullo, “Vision-based Cooperative Estimation via Multi-agent Optimization,” Proc. of the 49th IEEE Conference on Decision and

Control, pp. 2492-2497, 2010年12月15日 Atlanta, USA.

② T. Goto, T. Hatanaka and M. Fujita Potential Game Theoretic Attitude Coordination on the Circle: Synchronization and Balanced Circular Formation, Proc. Of the IEEE 2010 MSC, pp. 2314-2319, 2010年9月10日, Tokyo, Japan.

③ T. Hatanaka and M. Fujita, “Passivity-based Visual Motion Observer: From Theory to Distributed Algorithms,” Proc. of the 2010 IEEE Multi-conference on Systems and Control, pp. 1210-1221, 2010年9月8日, Tokyo, Japan.

④ M. Saito, T. Hatanaka and M. Fujita Order Formations in Multi-agent Search Problem: A Game Theoretic Approach Proc. of the 2010 American Control Conference, pp. 4768-4773, 2010年6月12日, Baltimore, Maryland, USA.

⑤ J. Wagenpfeil, A. Trachte, T. Hatanaka, M. Fujita and O. Sawodny, “Distributed Decision Making for Task Switching via A Consensus-like Algorithm,” Proc. of the 2009 American Control Conference, pp. 5761-5766, 2009年6月12日, Louis, Missouri, USA.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

畑中 健志 (HATANAKA TAKESHI)

東京工業大学・大学院理工学研究科・助教
研究者番号: 10452012