

**科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書**

平成25年5月30日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2012

課題番号：23760384

研究課題名（和文） ビジュアルセンサネットワークのための分散協調推定

研究課題名（英文） Distributed Cooperative Estimation for Visual 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、通信・計算機能を有する複数のスマートカメラによって構成されるビジュアルセンサネットワークにおいて、個々のカメラの分散処理と通信によってターゲットの運動を協調的に推定するスマートなネットワークの構築を目指すものである。まず、過去の研究において提案した受動性に基づく視覚オブザーバと受動性に基づく位置・姿勢同期制御を、受動性という共通のシステム理論によって融合し、Networked Visual Motion Observerなる分散協調視覚推定アルゴリズムを提案した。提案アルゴリズムは、ローカルな視覚情報による推定に視覚オブザーバを用い、近傍カメラからの推定値の集約に同期制御を用いる構成となっている。次に、分散最適化理論と同期制御の知見を活用し、提案アルゴリズムによる平均化性能を理論的に明らかにし、さらに対象の運動と平均化性能の関係性を明確化した。また、以上の成果の妥当性を検証するための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、有効性の主張を強固なものとした。さらに、個別センサの故障や可視性の制限が性能に与える影響を理論的に定量化し、そのような状況でも機能するように改良したシステムを構築した。

研究成果の概要（英文）：The goal of this project is to establish a smart network system estimating target motion via distributed information processing and decision-making for a visual sensor network which is a network consisting of multiple smart cameras with communication and computation capability. We first presented a distributed cooperative visual estimation mechanism, called networked visual motion observer, by combining two different previous works: a passivity-based visual motion observer and passivity-based pose synchronization control. The proposed estimation mechanism executes local estimation via the visual motion observer and aggregates the neighboring cameras estimates based on the synchronization techniques. Then, we clarified an averaging performance of the estimates produced by the proposed mechanism based on the techniques in distributed optimization and pose synchronization. We also conducted theoretical analysis on a relation between target motion and the averaging performance. In addition, we built an actual visual sensor network system and demonstrated validity of the presented theoretical results. Finally, we quantified the effects of malicious sensors and imperfect visibility on the averaging performance and improved the sensor network system so that it works even in the presence of such undesirable events.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	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

## 1. 研究開始当初の背景

ビジュアルセンサネットワークは通信・計算機能を有する複数のスマートカメラによって構成されるネットワークであり、環境保全や防災のための環境モニタリングや安全・安心確保のための防犯・監視を実現する有力な手段として期待される。

(1) 研究開始当初、複数カメラシステムの研究開発は理論・実験両面で豊富な研究が既になされていたものの、視覚センサの情報量の膨大さにも関わらず、個別センサの分散的な情報処理と近傍センサとの限られた情報通信によって全体最適化を目指す分散協調アルゴリズム開発に向けた基盤理論はほとんど整備されていなかった。

(2) 本研究の開始とほぼ同期して、海外の複数の研究者が問題意識を共有する研究に取り組み始め、現在は協調制御理論の重要な適用対象として既に広く認識されるに至っている。しかしながら、国内では、現在に至るまで本研究を除いてこのような目的の研究はほとんどなされていない。

## 2. 研究の目的

(1) 本研究は、通信・計算機能を有する複数のスマートカメラによって構成されるビジュアルセンサネットワークにおいて、個々のカメラの分散処理と通信によってターゲットの動きや意図を協調的に推定するスマートなネットワークの構築を目指すものである。特に本応募課題ではターゲットの動きを推定する協調推定アルゴリズムの提案を主目的とする。

(2) 個別の理論課題として(i)提案アルゴリズムによる推定精度の定量化、(ii)ターゲットの動きの影響の定量化、および(iii)故障耐性の解析を設定した。

(3) 実験課題として(iv)実験システムの構築と検証実験の実施を設定した。

## 3. 研究の方法

(1) まず、分散協調推定アルゴリズムの提案は、過去の研究成果である視覚オブザーバの理論と同期制御の理論を、受動性と呼ばれるシステム理論を用いて融合することで実現した。

(2) 提案した推定機構に対して、2. (2)に記した理論課題(i)–(iii)を順を追って進めた。これらの課題は「モデルの決定・問題設定」→「アルゴリズムの提案」→「理論結果の導出」→「評価検討」の流れに従って実施し、基本的には全て独力で行った。当初は平成23年度中に課題(i)を、次年度(ii)、(iii)を完了する予定であったが、進捗が順調であったため、初年度に(ii)をおおよそ解決し、最終年度であるH24年度は主に課題(iii)に注力した。

(3) 検証実験に関しては、「物品購入」→「実験システムの構築」→「評価検討」→「システムの改修」の流れに従って実施した。初年度の12月までにピンホール型のワイヤレスカメラを用いたネットワークシステムを構築し、(i)および(ii)の評価検討を終えた。最終年度はPan-Tilt-Zoomカメラを用いたシステムに拡張し、課題(iii)の評価検討までを完了した。

## 4. 研究成果

(1) まず、当初の想定通り、これまでの申請者らの研究である視覚オブザーバの理論と同期制御の理論を併合することで協調推定アルゴリズム Networked Visual Motion Observer を提案した。

(2) 次に、課題(i)に取り組んだ。ここでは、推定精度をローカルな推定値の平均化性能と解釈し、分散最適化の知識を用いることで、その通信構造やカメラ数と平均化性能の関係を理論的に明らかにすることに成功した。この結果は、国際会議2011 American Control Conferenceに採択され(項目5.学会発表[7])、国内論文誌にも採録・掲載された(項目5.雑誌論文[1])。

(3) 次に、(2)の結果を拡張し、課題(ii)に対する解析を行い、この結果は50th IEEE Conference on Decision and Controlに採択された(項目5.学会発表[5])。なお、これまでの結果は保守性の強い不満足な結果であったが、更なる解析の結果、よりシャープな理論結果を導出することに成功し、(i)、(ii)をまとめて、当該分野における最難関の論文誌にRegular Paperとして採択・掲載された(項目5.雑誌論文[1])。

(4) さらに、課題(iii)については、ターゲ

ットがいくつかのカメラの可視領域を外れることを想定した理論の構築に取り組み、国際会議に採択され、発表を行った（項目 5. 学会発表[2]）。この結果は現在論文誌に投稿準備中である。

(5) また、課題(iv)については、分散型のビジュアルセンサネットワークシステムの構築に成功し、上記の論文は全て本システムを用いた検証実験を含むものとなっている。さらに、(4)の進展に伴い、実験システムを拡張し、ターゲット不可視状況においてもロバストに機能するシステムを構築した。

#### 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 6 件)

[1]  
著者名 : Takeshi Hatanaka and Masayuki Fujita,  
論文標題 : Cooperative Estimation of Averaged 3D Moving Target Object Poses via Networked Visual Motion Observers,  
雑誌名 : IEEE Transactions on Automatic Control  
査読有, 58 巻, pp. 623-638, 2013

[2]  
著者名 : Takeshi Hatanaka and Masayuki Fujita  
論文標題 : Passivity-based Visual Motion Observer Integrating 3D Target Motion Models  
雑誌名 : SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration  
査読有, 5 巻, pp. 276-282, 2012

[3]  
著者名 : 伊吹竜也、畑中健志、藤田政之  
論文標題 : パノラマ型カメラモデルに対する視覚フィードバック型位置・姿勢協調制御  
雑誌名 : システム制御情報学会論文誌  
査読有、25 巻、pp. 135-144、2012

[4]  
著者名 : Takeshi Hatanaka, Yuji Igarashi, Masayuki Fujita and Mark W. Spong  
論文標題 : Passivity-based Pose Synchronization in Three Dimensions  
雑誌名 : IEEE Transactions on Automatic Control  
査読有, 57 巻, pp. 360-375, 2012

[5]  
著者名 : 伊吹竜也、畑中健志、藤田政之  
論文標題 : 視覚フィードバックによるリーダー追尾型姿勢協調制御  
雑誌名 : システム制御情報学会論文誌  
査読有、24 巻、pp. 155-164、2011

[6]  
著者名 : Takeshi Hatanaka and Masayuki Fujita  
論文標題 : Passivity-based Cooperative Estimation for Visual Sensor Networks: Averaging of Multiple Target Objects Poses  
雑誌名 : SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration  
査読有, 4 巻, pp. 181-190, 2011

[学会発表] (計 10 件)

[1]  
発表者名 : Tatsuya Ibuki  
発表標題 : Passivity-based Visual Pose Regulation for a Moving Target Object in Three Dimensions: Structure Design and Convergence Analysis  
学会名 : 51st IEEE Conference on Decision and Control  
発表年月日 : 2012 年 12 月 12 日  
発表場所 : Maui, HI, USA

[2]  
発表者名 : Takeshi Hatanaka  
発表標題 : Vision-Based Cooperative Estimation of 3D Target Pose under Imperfect Visibility  
学会名 : 3rd IFAC Workshop on Distributed Estimation and Control in Networked Systems  
発表年月日 : 2012 年 9 月 15 日  
発表場所 : Santa Barbara, CA, USA

[3]  
発表者名 : 難波結人  
発表標題 : 対象運動モデルを用いた受動性に基づく視覚フィードバック位置姿勢制御  
学会名 : 計測自動制御学会第 12 回制御部門大会  
発表年月日 : 2012 年 5 月 15 日  
発表場所 : 奈良

[4]  
発表者名 : Tatsuya Ibuki  
発表標題 : Visual Feedback Pose Synchronization with a Generalized Camera Model  
学会名 : 50th IEEE Conference on Decision and Control and European Control

Conference

発表年月日：2011年12月14日

発表場所：Florida, Orlando, USA

[5]

発表者名：Takeshi Hatanaka

発表標題：Cooperative Estimation of 3D Target Object Motion via Networked Visual Motion Observers

学会名：50th IEEE Conference on Decision and Control and European Control Conference

発表年月日：2011年12月14日

発表場所：Florida, Orlando, USA

[6]

発表者名：Takeshi Hatanaka

発表標題：Passivity-based Cooperative Estimation Algorithm for Networked Visual Motion Observers

学会名：SICE Annual Conference 2011

発表年月日：2011年9月15日

発表場所：Tokyo

[7]

発表者名：Takeshi Hatanaka

発表標題：Passivity-based Cooperative Estimation of 3D Target Motion for Visual Sensor Networks: Analysis on Averaging Performance

学会名：2011 American Control Conference

発表年月日：2011年6月30日

発表場所：San Francisco, CA, USA

[8]

発表者名：Tatsuya Ibuki

発表標題：Visual Feedback Leader Following Pose Synchronization: Convergence Analysis

学会名：2011 American Control Conference

発表年月日：2011年6月29日

発表場所：San Francisco, CA, USA

[9]

発表者名：畑中健志

発表標題：ビジュアル・ロボティックネットワークのための分散最適化とゲーム

学会名：平成23年度第1回高信頼制御通信

研究会

発表年月日：2011年6月17日

発表場所：東京

[10]

発表者名：畑中健志

発表標題：ビジュアルセンサネットワークに対する協調推定アルゴリズムと検証実験

学会名：第55回システム制御情報学会 研究発表講演会

発表年月日：2011年5月17日

発表場所：大阪

〔図書〕（計 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

○取得状況（計 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 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