

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	設置式視覚センサネットワークを用いた分散最適化に基づく協調環境モニタリング
Title(English)	
著者(和文)	舩田陸
Author(English)	Riku Funada
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11129号, 授与年月日:2019年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:藤田 政之,三平 満司,井村 順一,山北 昌毅,早川 朋久,畑中 健志
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11129号, Conferred date:2019/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	システム制御 システム制御	系 コース	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	船田 陸		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	藤田 政之 教授	
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)	畑中 健志 特定准教授	

### 要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文では、設置式視覚センサネットワークを用いた分散最適化に基づく協調環境モニタリング問題を考察する。各章の概要は以下の通りである。

第1章「序論」では、本研究の背景と動機について述べる。この際、視覚センサネットワークを用いた環境モニタリングでは、データ量が膨大になることから個々の視覚センサでの分散処理が必要不可欠となることを指摘する。つぎに、複数台のセンサを用いた環境モニタリングに関する研究として、被覆制御を用いたものと合意制御による分散最適化を用いたものを紹介する。特に、前者がセンサの計測範囲を最適に配置することを目的とし、後者が単独のセンサでは取得が困難な情報の推定値をセンサ間で通信し合意させて取得することを目的としている点について論ずる。最後に、本研究が複数の視覚センサを用いた興味対象の捕捉と、その興味対象の3次元情報推定を目的とすることを述べる。

第2章「視覚センサの表現と数学的準備」では、本論文で扱う視覚センサネットワークと多様体上での勾配計算、受動性に基づく分散最適化手法を導入する。まず、3次元空間内に設置された視覚センサの位置姿勢と撮像系に関する設定をする。つぎに、多様体上で定義された関数の勾配を計算する手法を示す。特に、ある多様体上で定義された関数の勾配と、その部分多様体上で定義される元の関数の制限の勾配間における関係を明示する。さらに、合意制御を用いた分散最適化アルゴリズムを導入する。加えて、この分散最適化アルゴリズムが有する受動性に基づき、本アルゴリズムにより各エージェントが持つ推定値が合意しつつ制約付き凸最適化問題のKKT条件を満たす唯一の最適解へと収束することを示す。

第3章「多様体上での勾配法に基づいた協調視覚環境モニタリング」では、姿勢が制御可能な複数台の視覚センサによって、事前情報を用いずに動的な環境をモニタリングする問題を考察する。まず、2次元平面上で表現される監視環境と、視覚センサの画像平面との間の写像を示す。つぎに、本環境モニタリング問題を最適化問題として定式化する。具体的には、取得画像の解像度を評価する計測性能関数と視覚センサが捕捉した領域の重要度を評価する重要度関数を導入し、その積を各視覚センサの目的関数とする。この際、設計した目的関数の決定変数は3次元回転行列群、すなわちSO(3)上で表される姿勢となる。そこで、第2章で導入した多様体上での勾配計算を用いた、SO(3)上での勾配法に基づく分散的な解法を提案する。さらに、提案した制御入力が劣駆動性を有した視覚センサに対しても適用できることを示す。また、環境中の各点の重要度を表す関数の事前情報を要求せずに、各時刻において取得した画像データのみから重要度関数を推定する手法を提案する。本推定手法は画像処理によって矩形で囲むことができる興味対象であれば適用可能であり、本論文では人間を興味対象として議論を進める。最後に、シミュレーションと実験により、提案手法の有効性を検証する。シミュレーションでは、3D CGで模擬した複数の歩行者を捕捉するという設定で提案手法と協調動作をしない手法を比較し、提案手法の方がより高い解像度で長時間対象を捕捉し続けられることを示す。実験では、商用の視覚センサで構成された実験システムに提案手法を実装し、その有効性を示す。

第4章「受動性に基づいた分散協調型3次元視覚対象物位置推定」では、視覚センサネットワークを用いて興味対象の3次元位置と体積を分散協調的に推定する問題を考察する。まず、本問題を分散最適化問題として定式化する。本問題設定では、第3章と同様に興味対象が画像平面において矩形で囲まれているとし、特に人間を興味対象として議論を進める。その後、第2章で導入した受動性に基づく分散最適化アルゴリズムを適用する。この際、各視覚センサの推定値が合意しつつ最適解に収束するものの、収束の速度が遅いことから歩行者といった動的な対象に適用するには課題が残ることを指摘する。この問題を解決するために新たに位相進み補償器を導入した分散最適化アルゴリズムを提案する。さらに、位相進み補償器を導入後も受動性が保たれることに基づき、提案手法を本推定問題に適用した場合においても最適解へ収束することを証明する。また、ループ整形法に基づいた位相進み補償器の設計手順を示す。最後に、3D CGを用いたシミュレーションによる検証を行う。この検証では提案手法と第2章で示した手法を、静的な人間と視界を妨げる障害物の周辺を移動する歩行者の位置・体積推定問題を通じて比較する。その結果、提案手法により過渡特性が改善されることと、推定値が最適解へと収束することを示す。加えて、歩行者が障害物の影に隠れた際に発生する誤検出の影響が、提案手法では抑えられていることも確認する。

第5章「結論」では、本論文の主要結果をまとめ、本研究の今後の発展方向を議論する。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)  
Doctoral Program

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	システム制御 システム制御	系 コース	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	船田 陸		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	藤田 政之 教授	
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)	畑中 健志 特定准教授	

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

This dissertation investigates cooperative environmental monitoring for a visual sensor network located in a 3-D space. The objectives are to propose visual coverage control for capturing moving objects and to estimate the 3-D location of a captured object by using a visual sensor network. For both cases, the applicability for moving objects are considered.

First, we investigate the visual coverage control for monitoring moving objects in a 2-D environment by a visual sensor network with controllable orientations. In this scenario, because the control variable must be restricted on the Lie group  $SO(3)$ , we formulate this coverage problem as an optimization problem on  $SO(3)$ . Then, we propose the optimization algorithm which utilizes gradient descent techniques on the manifold. In addition, through the optimization process of this coverage problem, we need to acquire the density information which describes how important each point on the environment is without any prior information. To achieve this, we propose the density estimation process which only requires acquired images. Finally, we exemplify the effectiveness of the proposed method through simulations and an experiment.

Second, we consider the distributed 3-D visual localization of a moving object for a visual sensor network. We first formulate this problem as a distributed optimization problem. Next, a passivity-based distributed optimization method using a consensus algorithm is applied to this problem. We show that it guarantees the asymptotic convergence to the optimal solution, but its convergence speed is not enough to apply it to the localization of a moving object. To improve the convergence speed, we propose an algorithm which adds multiple phase-lead compensators to the previous method. We prove that the proposed algorithm maintains the convergence to the optimal solution based on passivity. Finally, the effectiveness of the proposed method is demonstrated through simulations.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).