

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 24 年 3 月 31 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360111

研究課題名（和文）

モーションステレオと分布センサによる柔軟索状ロボットの形状と運動の推定と制御

研究課題名（英文）Motion Estimation and Control of a Flexible Serpentine Robot by Motion Stereo and Distributed Sensors

研究代表者

田所 諭（SATOSHI TADOKORO）

東北大学・大学院情報科学研究科・教授

研究者番号：40171730

研究成果の概要（和文）：

能動スコープカメラの内界センサを用いた運動と形状の推定の研究を行った。カメラ映像と運動センサのみによる方法では、室内等では6自由度運動推定が可能だが、瓦礫内では照明の移動などによって推定が困難となることがわかった。ANCFによる柔軟ケーブル力学モデルにアンセンティッドカルマンフィルタを用いることによって、センサ密度が低い場合や外乱ノイズが大きい場合の形状推定精度を向上させることができた。

研究成果の概要（英文）：

Estimation of motion and cable shape was studied using internal sensors of Active Scope Camera. By methods using only camera image and motion sensors, 6-DOF motion could be estimated in room environment, but rubble environments made the estimation difficult because of motion of the lights. By applying an unscented Kalman filter to a dynamic model of flexible cables by ANCF, the accuracy of estimation was improved for sparse sensors and/or large disturbance.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	8,800,000	2,640,000	11,440,000
2010年度	3,300,000	990,000	4,290,000
2011年度	2,900,000	870,000	3,770,000
総計	15,000,000	4,500,000	19,500,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：ソフトメカニクス

1. 研究開始当初の背景

能動スコープカメラは、狭所検査用の細径のビデオスコープ（ファイバースコープ）に対して、繊維振動駆動によるケーブル全表面の分布的アクチュエーションにより、瓦礫のような複雑な狭い環境にロボストに進入する能力を実現したレスキューロボットである。これまでに実災害への適用などの実績を

上げてきた。

その大きな課題は運動制御能力の不足である。この解決のためには、制御の問題に加え、柔軟なケーブル全体の形状を計測することがボトルネックとなっていた。

2. 研究の目的

以上の課題を根本的に解決するため、本研

究では、能動スコープカメラの内界センサを使って全体形状等を推定することを、構成論的に可能にし、複雑な瓦礫内での運動を制御できるようにすることを目的とする。また、これに関連して、瓦礫内の空隙のマップをSLAMにより求める方法論の確立を目指す。

3. 研究の方法

研究目的を達成するために、下記の6項目について研究を行う。

(1) ケーブル先端の運動計測法の研究開発

先端のカメラから得られる視野角 150 度の映像を利用し、SIFT 特徴量を用いたモーションステレオによって先端の運動を計測する。

(2) ケーブル中間および根元の運動計測法の構成論的研究開発

能動スコープカメラの直径 2.5 cm に実装可能な、超小型加速度センサ、ジャイロセンサ、曲げセンサ等を分布的に構成する。また、あとの実験結果に基づき、構成の最適化（センサ数、配置など）を検討する。

(3) 力学モデルに基づくケーブル形状・拘束・摩擦分布の推定法

計測された運動情報に基づき、力学モデルによりケーブル全体にわたる運動や形状を推定し、それによってトラクションの分布や拘束を推定する方法について研究する。

(4) ケーブル全体の運動制御

計測結果に基づき、ケーブル根元の運動と振動の制御により、(半) 自律的な運動を生成する方法を研究する。

(5) 瓦礫内 SLAM

計測結果に基づき、瓦礫内を 3D モデリングする方法について研究する。

(6) 実証試験

はじめは平面やパイプなどの単純な条件で研究を進めるが、最終的にはファーストレスポンスの協力を得て、瓦礫環境で実証する。

以上の概要を図 1 に示す。

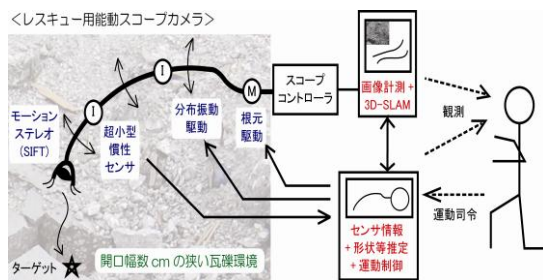


図 1 本研究の計画の概要

4. 研究成果

本研究では下記のような成果を上げた。

(1) 2009年度

①ケーブル先端の運動計測法の研究開発

先端のカメラから得られる映像に対して KLT と SIFT の 2 つの特徴量を用い、6 点法と RANSAC によって 6 自由度の運動推定を行った。その結果、外部照明条件が十分な環境では良好な運動推定を可能とした。一方で、瓦礫内では遠点近点において照明条件の問題で特徴点抽出がうまくいかない、照明の移動に伴う影響によって特徴点のマッチングができない、という問題が残った。

②センサユニットの開発

先端に組み込んで 3 軸加速度が計測できる小型センサユニットを開発し、ベースに設置したコントローラに加速度データを送るシステムを実現した。

③ケーブル全体の運動制御

ケーブルの直線部に着目し、ルールベースによる制御則を適用することで、ケーブル全体を運動制御できることを示した。

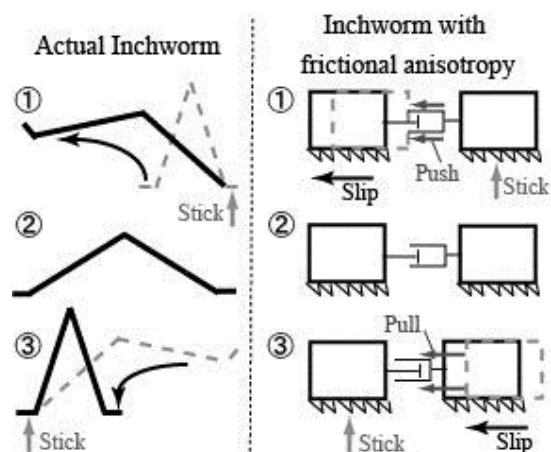
(2) 2010年度

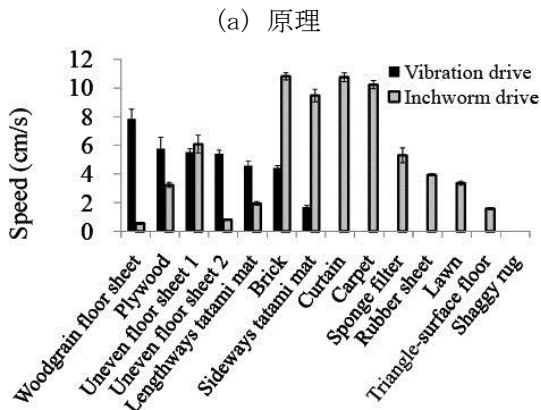
①ケーブル運動センサデータに基づく瓦礫内 SLAM

研究室内の映像と運動センサデータからは 6 自由度の運動推定をある程度の精度で行うことができ、マップを作成できることが確認できた。一方で、瓦礫内では特徴点抽出が困難であることが主たる原因となって、運動推定自体が困難であった。そのため、ケーブルとアクチュエータの運動モデルを利用し、新たな SLAM の定式化を行う必要があることがわかった。

②ケーブル全体の運動制御

新たな運動制御の方式として、摩擦異方性を利用したインチョーム機構を考案した(図 2)。これによりこれまで運動が困難だった柔軟な路面や凹凸路面といった環境条件での運動性能を補完し、ケーブルの運動性能を飛躍的に向上できることがわかった。しかしながら、これによって制御の自由度が増えるため、それを活用した新たな運動制御方式の検討が必要である。





(b) 絨毛振動駆動との特性比較

図2 摩擦異方性インチョーム機構

③実証試験

床面の材質などを変更した様々な実験室条件での試験を行うとともに、レスキュー部隊の訓練所などを活用して瓦礫等への適用試験を行った。

(3) 2011年度

①ケーブルとアクチュエータの運動モデルを利用した新たなSLAMモデルの構築

SLAMのためのモデルとして、Absolute Nodal Coordinate Formulationによる柔軟ケーブルの力学モデルと、各種センサによる観測モデルを構築した。

②形状推定器の構成

これに対して、ケーブル中間に設けられた分布姿勢センサと、先端のカメラから得られる画像列を用いることによって、Unscented Kalman Filterによって、環境中の地図を得ながら高精度に先端カメラ位置を推定すること、柔軟ケーブルの形状推定を行うことが可能にした。瓦礫環境下では、画像の特徴点を得られない、照明条件がケーブルの移動に伴って変化する、という問題があり、モーションステレオの適用が困難であったが、分布力学モデルによって、センサ密度が低い場合や外乱ノイズが大きい場合における形状推定の精度を向上させることができた。(図3)

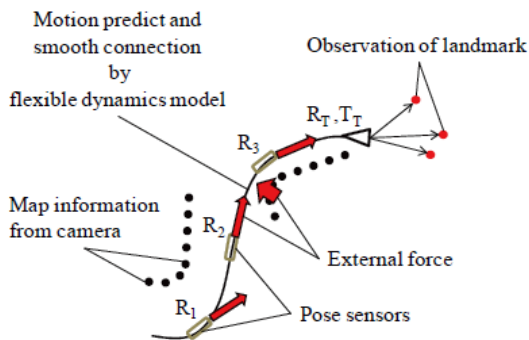
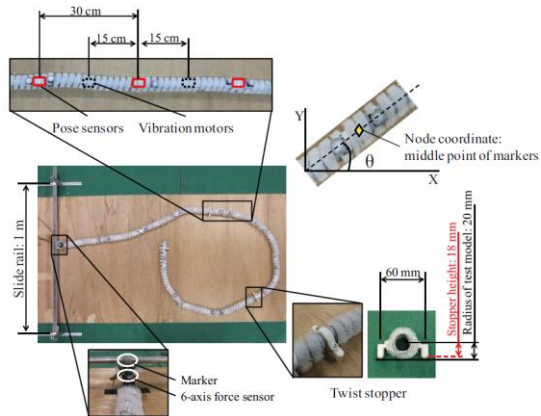


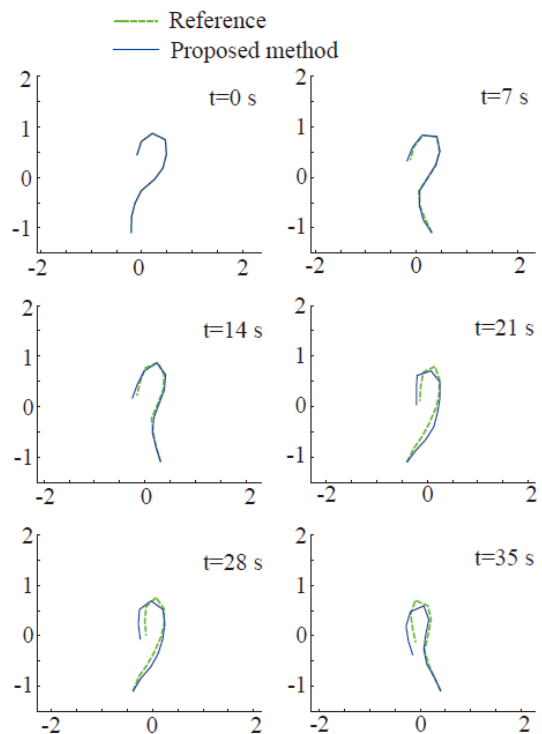
図3 ANCFとUKFによる形状推定器

③形状推定の評価実験

種々の条件の平面上を運動する能動スコープカメラについて、ケーブルの一端に任意運動を与えて制御しながら、形状推定の精度評価を行った。その結果、本手法によって精度が向上すること、少数のセンサでも精度良く推定できること、ケーブル全体の運動制御が可能であること、を実験的に明らかにした。一方、この手法ではセンサオフセットの影響が大きいという問題が残された。(図4)



(a) 実験装置



(b) 推定結果

図4 形状運動推定実験結果

④改良型能動スコープカメラと実証試験

機構を改良して駆動力を改善し、運動能力を向上させた能動スコープカメラを開発し

た。レスキュー部隊の訓練所での瓦礫適用試験によって、粒径 100mm 程度の砂利環境において、これまでよりも高い走行性能を確認することができた (図 5)。



図 5 改良型能動スコープカメラ評価試験

5. 主な発表論文等 〔雑誌論文〕 (計 7 件)

1. Kazuhito Wakana, Michihisa Ishikura, Masashi Konyo, Satoshi Tadokoro, Development of Linear Inchworm Drive using Flexible Pneumatic Actuator for Active Scope Camera, Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2012), pp. 4315-4321, 2012. (掲載決定) (査読有)
2. Michihisa Ishikura, Kazuhito Wakana, Eiji Takeuchi, Masashi Konyo, Satoshi Tadokoro, Running Performance Evaluation of Inchworm Drive and Vibration Drive for Active Scope Camera, Proc. 2011 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp. 599-604, 2011. (査読有)
3. Michihisa Ishikura, Eiji Takeuchi, Masashi Konyo, Satoshi Tadokoro, Vision-based localization using active scope camera - accuracy evaluation for structure from motion in disaster environment-, Proc. 2010 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2010), A1-5, pp. 25-30, 2010. (査読有)
4. Thorsten Linder, Viatcheslav Tretyakov, Sebastian Blumenthal, Peter Molitor, Hartmut Surmann, Dirk Holz, Robin Murphy and Satoshi Tadokoro, Rescue Robots at the Collapse of the Municipal Archive of Cologne City: a Field Report, Proc. IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics (SSRR2010), pp. 1-6, 2010. (査読有)
5. Satoshi Tadokoro, Robin Murphy, Samuel Stover, William Brack, Masashi Konyo, Toshihiko Nishimura, Osachika Tanimoto, Application of Active Scope Camera to Forensic Investigation of Construction Accident, Proc. 2009 IEEE International Workshop on Advanced Robotics and Its Social Impacts (ARSO2009), pp. 47-50, 2009. (査読有)
6. Kazuna Sawata, Masashi Konyo, Satoshi Tadokoro, Koichi Osuka, Control Experiments of Sliding Motion of Active Flexible Cable, Proc. the 3rd International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology (ICMDT 2009), pp. 112-117, 2009. (査読有)
7. Kazuna Sawata, Masashi Konyo, Satoshi Saga, Satoshi Tadokoro, Koichi Osuka, Sliding Motion Control of Active Flexible Cable with Simple Shape Information, Proc. 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2009), pp. 3736-3742, 2009. (査読有)

〔学会発表〕 (計 11 件)

1. Satoshi Tadokoro, Rescue robotics in action, IEEE/SICE International Symposium on System Integration, 2011.12.22, Kyoto, Japan (Plenary Speech)
2. Satoshi Tadokoro, Resuce robots in Great Eastern Japan Earthquake, 2011 International Conference on Service and Interactive Robotics, 2011.11.26, Taichung, Taiwan (Invited Speech)
3. Satoshi Tadokoro, Rescue robotics in action, The 1st Korea-Japan Workshop in Firefighting and Disaster Prevention Robots, 2011.11.23, Incheon, Korea (Invited Speech)
4. Satoshi Tadokoro, Rescue robotics in action, NIST/ASTM Response Robot Exercise, 2011.11.16, College Station, USA (Invited Speech)
5. Satoshi Tadokoro, Rescue robotics in action, AAAI Fall Symposia, 2011.11.6, Arlington, USA (Invited Speech)
6. Satoshi Tadokoro, Masashi Konyo, Kazuna Sawata, System Integration in R&D of Active Scope Camera, IROS 2010 Workshop on Robots and Sensors Integration in Future Rescue Information System (ROSIN' 10), 2010.10.18, Taipei, Taiwan, 2010
7. Satoshi Tadokoro, Rescue robotics and its applications, The 7th International

Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligent, 2010.11.25, Busan, Korea (Invited Speech)

8. Satoshi Tadokoro, Rescue robotics challenge, 2010 IEEE International Workshop on Advanced Robotics and Its Social Impacts, 2010.10.26, Seoul, Korea (Invited Speech)
9. Satoshi Tadokoro, Rescue robotics challenge, Celebrating 50 Years of Robotics, 2009.12.11, Philadelphia, USA (Invited Speech)
10. Satoshi Tadokoro, Rescue robotics and its application, ICCAS-SICE 2009 Introductory Lecture, 2009.8.21, Fukuoka, Japan (Invited Speech)
11. Satoshi Tadokoro, Active Scope Camera and a high mobility UGV, Kenaf, 4th International Workshop on Synthetic Simulation and Robotics to Mitigate Earthquake Disaster, 2009.7.6, Graz, Austria (Invited Speech)

[図書] (計1件)

1. Satoshi Tadokoro, Rescue Robotics, Springer Publ. Co., Total Page: 224, 2009

[その他]

ホームページ

<http://www.rm.is.tohoku.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田所 諭 (SATOSHI TADOKORO)

東北大学・大学院情報科学研究科・教授

研究者番号：40171730

(2) 研究分担者

竹内 栄二郎 (EIJIRO TAKEUCHI)

東北大学・大学院情報科学研究科・助教

研究者番号：00509680