

平成 29 年 5 月 31 日現在

機関番号：14501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26870258

研究課題名(和文) 不確かな環境におけるマルチロボットの協調的作業計画

研究課題名(英文) Coordinated Task Planning for Multiple Robots in Uncertain Environment

研究代表者

田崎 勇一 (Tazaki, Yuichi)

神戸大学・工学研究科・准教授

研究者番号：10547433

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では不確かさを持つ環境においてマルチロボットのチームが協調的に作業を遂行するための計画手法の開発を行った。従来、作業環境に関する情報の不確かさは所与のものとされ、そのもとで保守的な作業計画が行われてきた。本研究ではロボットが積極的な観測行為によって作業環境の情報を収集し、チーム間で共有する仕組みを考え、観測行動や情報共有のために支払うべきコストとその潜在的メリットを考慮したマルチロボットの作業計画手法を開発した。本研究の成果により、屋外作業ロボットの運用における操作者の負担の軽減や、被災地の救援などの大規模なオペレーションにおけるマルチロボットの合理的な運用へ向けた前進が得られた。

研究成果の概要(英文)：The goal of this research is to develop a planning method for a team of multiple robots to accomplish assigned tasks in a coordinated manner in uncertain operating environments. Conventionally, the degree of uncertainty in environmental models was assumed to be unchanging, and conservative task planning was discussed under this assumption. This research considers a framework in which robots can actively collect information of the environment and share it within the team. A task planning method that considers the cost and the potential benefit of information gathering is developed. This research made a step towards realizing efficient operation of multiple robots in disaster area, and lightening the load of human operators.

研究分野：ロボット工学

キーワード：マルチロボット 行動計画 不確かさ

1. 研究開始当初の背景

現在における移動ロボットの関連技術は、外界のセンシングや推進制御、基礎的なマニピュレーションなどの個別技術は高い完成度に達している。その反面、実際のミッションにおいて周囲の情報を収集し、それら进行分析した上で移動目標地点や作業内容を決定する役割は人間のオペレータの遠隔操作に頼る部分が依然大きい。このような情報の収集・分析を含んだ作業計画をロボット自身が行うことが可能となれば、操作者の大幅な負担軽減につながる事が期待される。また、複数台のロボットで構成されるマルチロボットチームの作業計画を考える場合、単体の計画には無い多くの課題が現れる。その例としては、物資搬送や周辺観測、障害物除去などの個々の作業へのロボットの台数配分、ロボット間の協調を考慮したスケジューリング、情報共有のためのネットワーク構成などがある。特に、被災地の救援作業等を考える場合、道路の寸断状況や各地点の要求支援量などが不確かな状況下において、ロボット同士が協調することで限られた時間での支援作業量を最大化する必要がある。このとき、マルチロボットの特性を活かし、一部のロボットが積極的に情報収集に従事し、他のロボットがその情報を利用して行動することでチーム全体としての作業効率が向上することが期待できる。このように高度に複雑化した状況に対応可能な、理論に根差した作業計画の方法論は未だ確立されておらず、これに取り組むことの意義は大きいと言える。他方、移動ロボットの分野において自己位置や環境の不確かさに焦点を当てた問題としてSLAM (Simultaneous Localization And Mapping)問題が長年研究されてきた。SLAM問題では観測情報にもとづいて不確かな情報を推定すること自体が主目的とされ、ロボットの行動計画はしばしば脇に追いやられてきた。これに対し、本申請課題ではあくまでマルチロボットによる物資搬送などの実質的作業の能率を最大化することが目的であり、その手段として観測による情報の取得を考える。この主従の転換により、従来の「観測情報は所与である」という図式から離れ、作業遂行に有益な情報の選択や、観測に割くべきロボットの配分の決定など、情報収集のコストとメリットを考慮した作業計画が可能となる。

2. 研究の目的

本研究は、不確かさを持つ環境においてマルチロボットのチームが協調的に作業を遂行するための計画手法の開発を目的とする。従来、作業環境に関する情報の不確かさは所与のものとして、そのもとで保守的な作業計画が行われてきた。そこで、本研究ではロボットが積極的な観測行為によって作業環境の情報を収集し、チーム間で共有する仕組みを考え、観測行動や情報共有のために支払う

べきコストとその潜在的メリットを考慮したマルチロボットの作業計画手法を開発する。本研究を達成することによって、屋外作業ロボットの運用における操作者の負担の軽減や、被災地の救援などの大規模なオペレーションにおけるマルチロボットの合理的な運用が可能となる。

3. 研究の方法

H26年度は研究目的の項目1（不確かな環境における作業計画）に重点的に取り組み、理論面の整備を行った。実験の評価は数値シミュレーションにより行った。H27年度以降は、項目2（自己位置の不確かさを考慮した軌道計画）の基礎的検討を行った。両者に並行して、項目1, 2の手法評価を行うための室内実験環境の構築を行い、平成27年度以降は本実験環境を用いた評価を実施した。研究の成果は主に国内の学術講演会において発表を行った。研究体制としては、研究代表者に加えて4名の大学院生を研究協力者として割り当て、研究の促進を図った。

4. 研究成果

【マルチロボットの作業計画問題の定式化と原理の解明】

H26年度に実施した本テーマについては、移動コストが不確かなグラフモデル上での作業計画問題を考え、複数のエージェントを「情報収集」役と「物資搬送」役に分けた際、情報収集に要するコストと、期待される物資搬送ルート効率化とのバランスを解析した。理論面においていくつかの基礎的な知見が得られ、また簡単なシミュレーション環境において計画にもとづくロボット群の作業効率を評価した(図1, 2)。本成果を学術論文にまとめ投稿したが採択には至らなかった。実用的なレベルの問題への適用可能性を批判されたため、これを受けて手法を再考する必要がある。具体的には、評価を行う環境モデルとして、人為的なモデルではなく災害シミュレーションなどの研究を参考にしてより現実的なものとする。

【不確かさを考慮したマルチロボットの軌道計画】

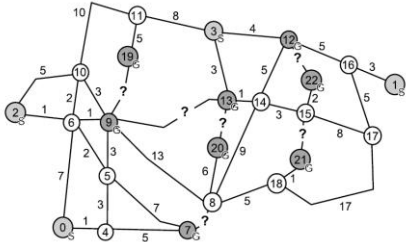
H27年度に実施した本テーマについては、地図などの環境情報の得られない状況においてロボット群が相対的な位置と方位を計測することで環境中の絶対的な位置を把握しながら移動する協調ポジショニング(図3)の枠組みにおいて、ロボットの位置関係が観測精度におよぼす影響を解析し(図4)、それを簡単な数値シミュレーションおよび実機実験にて評価した。また、本成果を国内会議にて発表した。

H28年度も引き続き「不確かさを考慮したマルチロボットの軌道計画」について、ロボット群の相互測位にもとづく位置推定や地図生成について取り組み、主に実機を用いた

実環境における評価を行った。



(a) Chikusa area, Nagoya city (Google Maps, ZENRIN)



(b) Environment model

図1：シミュレーション環境のモデルとした名古屋市千種区の一部（上）とグラフモデル（下）

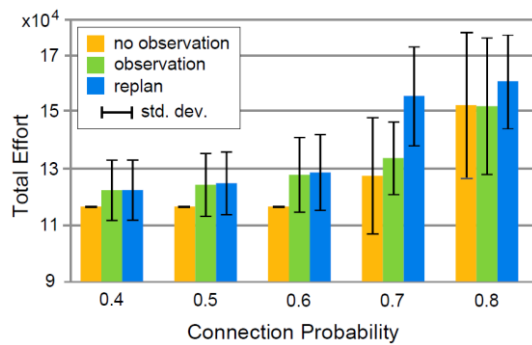
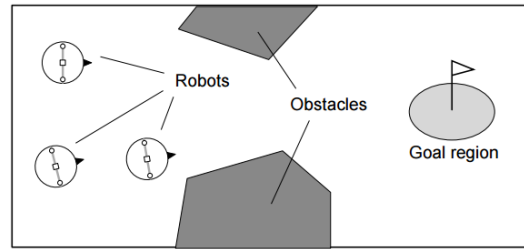


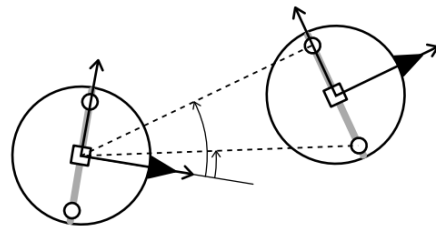
図2：情報収集を行わない場合（黄）よりも一部のエージェントが情報収集を行う場合（緑）の方が期待される総作業量が増大することが確認された

具体的には、前年度と同様にレーザ測域センサと無線通信装置を搭載した小型移動ロボットの実験機を複数台開発し、これを用いて建物内の探索・地図生成実験を実施した。フロア全体の地図の生成を目標に設定していたが、実際には一区画のみにとどまり、目標を達成できなかった。制御プログラムの整備に時間を消費してしまったことが原因といえる。一方、研究を通じて協調位置推定の枠組みで行動するロボット群における各ロボットの行動を合意形成にもとづいて分散的に決定する方法の端緒を得た。今後、シミュレーション環境における大規模ロボット群の分散意思決定へ展開していく予定である。当該年度においては本課題に直接関連する内容の学術講演会や学術論文における発表は行えなかった。この原因としては昨年度からの実験の進捗がはかばかしくなかった点や、研究協力者の入れ替わりや研究代表者の所属機関の異動による研究実施環境の変化への対応に時間を要した点があげられる。

全体として本課題の期間内に結実した成果は少なかったと言わざるをえないが、次年度から開始される関連テーマの新規課題において、本課題で取り組んだ内容も引き続き検討および成果発表を行っていく予定である。



(a) Illustration of workspace and robots



(b) Relative measurement configuration

図3：ロボットが周辺の他ロボットに搭載された光学マーカの位置を計測することでロボット同士の相対的な位置と向きを求める協調ポジショニングにもとづく環境探索

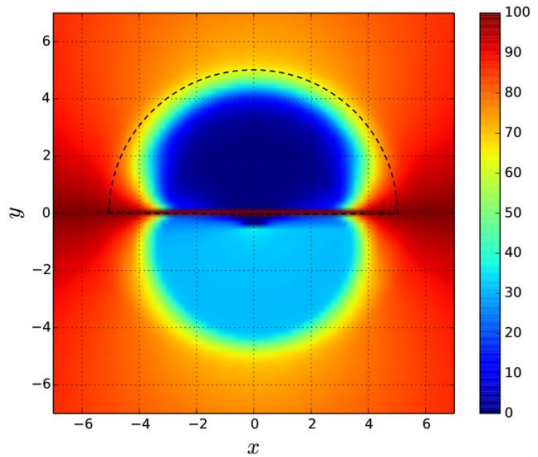


図4：協調ポジショニングにおけるロボット同士の相対位置と位置推定精度の関係性を可視化した図。濃い青色程度推定精度が良好。

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] Y. Tazaki, J. Xiang, T. Suzuki, and B. Levedahl: Multi-resolution State Roadmap Method for Trajectory Planning IEEE Transactions on Fundamentals, Vol. E99-A,

No. 5, pp. 954-962, 2016.

[2] 田崎勇一: (解説)トポロジカルな地図表現を用いた移動ロボットのナビゲーション, 日本ロボット学会誌, Vol. 33, No. 10, pp. 773-778, 2015.

[3] 田崎勇一: (解説)多分解能状態空間ロードマップ法による軌道計画 日本ロボット学会誌, Vol. 32, No. 6, pp. 519-524, 2014.

[4] Y. Tazaki and T. Suzuki: Constraint-Based Prioritized Trajectory Planning for Multi-Body Systems, IEEE Transactions on Robotics, Vol. 30, No. 5, pp. 1227-1234, 2014.

〔学会発表〕(計5件)

[1] 高島航一, 田崎勇一, 鈴木達也: 相互観測における情報利得に基づいたマルチロボットの協調ポジショニングとナビゲーション, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2E1-2, pp. 1325-1330, 2015年12月15日, 愛知県名古屋市.

[2] 亀井理央, 田崎勇一, 鈴木達也: 環境のトポロジー変化に対してロバストな自律移動ロボットのナビゲーション, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 1P1-J04, 2015年5月18日, 京都府京都市.

[3] 高島航一, 田崎勇一, 鈴木達也: マルチロボットの位置の不確かさを考慮したファーマーション制御, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014, 2A1-W06, 2014年5月27日, 富山県富山市.

[4] H. Fuji, Y. Tazaki, J. Xiang, B. Levedahl, T. Suzuki: Trajectory Planning for Automated Parking Using Multi-Resolution State Roadmap Considering Non-Holonomic Constraints, IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp. 407-413, 2014年6月9日, Dearborn.

[5] Y. Tazaki, T. Suzuki: Multi-Robot Scheduling and Trajectory Planning Using State Roadmap, SICE Annual Conference, pp. 1271-1277, 2014年9月12日, 北海道札幌市.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

〔その他〕

ホームページ等

Yuichi Tazaki's Web Page

<http://www2.kobe-u.ac.jp/~tazaki/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田崎 勇一 (TAZAKI, Yuichi)

神戸大学・工学研究科・准教授

研究者番号: 10547433

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

高島 航一 (TAKASHIMA, Kouichi)

亀井 理央 (KAMEI, Rihiro)

藤 紘至 (FUJI, Hiroshi)

項 警宇 (XIANG, Jingyu)