

【助成 40-07】

マルチロボティック測位システムの開発:
リアルタイム測位の普遍化・高精度化が変える未来の情報化社会

研究者 京都大学大学院情報学研究科 准教授 櫻間 一徳

〔研究の概要〕

本研究の目的は、非 GPS 環境のような既存システムでは高精度なリアルタイム測位ができない状況に対応する「マルチロボティック測位システム」を開発し、リアルタイム測位の普遍化・高精度化を図ることである。まず、デプスカメラと LiDAR を設置した構成の測位対象の全方向移動台車ロボットを製作し、移動体としてドローンを考えた。次に、ロボットの自己位置・姿勢・物体位置の同時推定を、ノイズ及びバイアスが含まれた相対観測を用いて行う手法を提案した。最後に、ロボット群が複数のターゲットを巡回して観測するための分散制御器を設計した。さらに、数値実験によって複数ロボットが多数のターゲットを協調的に観測できていることを確認した。

〔研究経過および成果〕

本研究の目的は、非 GPS 環境、外部測位装置を事前に設置しない、自己測位では低精度になる、という既存システムでは高精度なリアルタイム測位ができない状況に対応する「マルチロボティック測位システム」を開発し、リアルタイム測位の普遍化・高精度化を図ることである。本システムは多点に配置された測位装置を能動的に動作させる新しい構成のシステムである。研究経過および成果は以下の通りである。

ハードウェアの製作(期間:2023年4月~12月) 図



図 1: 測位ロボット 2 台

1 のような測位ロボット 2 台を製作した。全方向移動台車ロボットに、デプスカメラを搭載したコンピューターと相手ロボットを測定する LiDAR を設置した構成である。測位対象の移動体としてドローンを考えた。

協調測位法の考案(期間:2023年7月~2024年2月) 複数の測位ロボットから得られるセンサ情報を統合し、移動体を協調的に測位する方法論を考案した。まず、1. システムの状態変数(ロボット・移動体の位置姿勢、マニピュレーターの関節角度など)と得られるセンサ値の関係から、移動体の位置姿勢を推定するアルゴリズムを考案した。さらに、2. 得られた推定値をもとにロボットをより観測しやすい位置に移動して巡回するような制御法を提案した。以下、この二つの方法について具体的に説明する。

方法 1. ロボットの自己位置・姿勢・物体位置の同時推定を、ノイズ及びバイアスが含まれた相対観測を用いて行う手法を提案した。特に、相対観測値は位置情報のみであり、姿勢は含まず、不均一なバイアスを含む点に注意されたい。まず初めに、バイアス及びノ

イズが含まれたロボットとターゲットの相対位置の観測モデルを定式化した。ここで、エージェントの姿勢を表現するために、特殊直交群に属する回転行列を適用した。次に、エージェントの位置と姿勢、物体の位置、バイアスからなる未知パラメータを含んだ尤度関数を与えて最適化問題として定式化した。この最適化問題を分散的に解くために、元の問題を合意制約付き最適化問題に再定式化した。そして、この問題をリーマン多様体上の勾配に基づく主双対上昇法によって解くことで、全ての変数を同時に推定する分散アルゴリズムを得た。提案した分散アルゴリズムの有効性をシミュレーションにより検証し、提案法は、集中的な手法と同程度の精度であることを示した。提案法の利点は以下の通りである。(i) リーマン多様体上の最尤推定から導かれるアルゴリズムの意味が明確である点。(ii) エージェントと物体の同時推定により、エージェント情報を統合できるため推定性能を向上させられる点。(iii) 観測バイアスを考慮した推定を行う点。(iv) 相対姿勢の計測が不要である点。(v) 提案した推定手法は、リーマン多様体上の定式化であるため、空間の次元によらず適用可能である点。(vi) 事前情報として具体的な分布(正規分布とフィッシャー行列分布)を用いることで、分散アルゴリズムを提案している点。

方法 2. ロボット群が複数のターゲットを巡回して観測するための分散制御器を設計した。分散制御とは、集中管理に頼ることなく、ロボットが観測した情報のみを用いた制御法である。ターゲットが観測されていない時間に応じて重みが増加する目的関数を用いることで、ロボットがターゲットを巡回する新しい方法を提案した。さらに、設計した分散制御器の有効性を数値実験で示した。実際、図 2 のように 3 台のロボットに

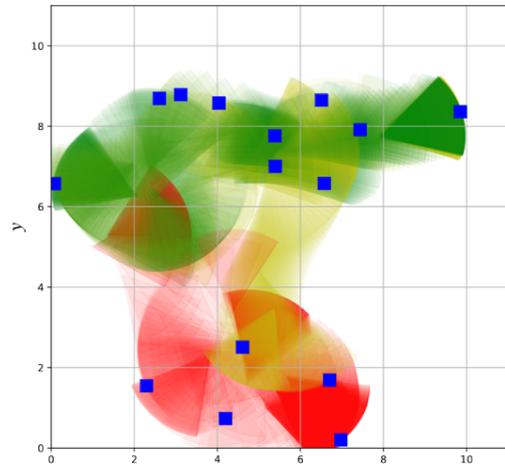


図 2 : シミュレーション結果

よる累積観測領域が多数のターゲットをカバーしていることが分かる。提案法の特徴は以下の通りである。

- (i) ロボットの台数に依らず、多くのターゲットを巡回するように観測できる。各ロボットは自身で記録している時間の重みによって、どのターゲットを観測すべきか判断する。したがって一部が故障しても対応できる。
- (ii) 通信機器やコンパスを必要としない。各モバイルセンサが従う制御器に必要なのは、自身が取得した情報のみで、GPS やコンパスが使えない、あるいはそれらの精度が下がる屋内等でも利用できる。

社会的ニーズの探索(期間:2023年10月~2024年3月)企業の技術者と議論し、倉庫や図書館での使用などの社会的ニーズを探索した。

[発表論文]

1. Patrolling Control of Mobile Sensor Swarms Using Time-Varying Objective Function: Hirokazu Sakata and Kazunori Sakurama, SICE Annual Conference, 2023
2. 異方性センシング機能を持つモバイルセンサ群の時間重みを用いたターゲット観測: 坂田 寛知, 櫻間 一徳, システム制御情報学会 研究発表講演会, 2023 (SCI'23 学生発表賞受賞)