

Title	Fault-Resilient Cooperation of Autonomous Mobile Robots with Unreliable Compass Sensors
Author(s)	Souissi, Samia
Citation	
Issue Date	2007-09
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/3754
Rights	
Description	Supervisor:Defago Xavier, 情報科学研究科, 博士

精度の低いコンパスセンサを備えた自律モバイルロボット群 の耐障害性のある協調

サミア スイシー

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

論文の内容の要旨

絶え間ない技術の進歩は、人間が完遂するには危険であったり不適切である多種多様の協調作業を様々なロボットを使って行うことを可能にした。これらの協調作業は、狭い場所や危険な環境、遠隔地のように人の近づき難い場所の視察、震災時に瓦礫の下に閉じ込められた人の救助や洪水の犠牲者を探すといった搜索救助作業を含んでいる。この見解から我々は、ロボット群が悪環境に配置され、GPSのようなインフラストラクチャが事前に無いシステムに興味を持った。また、ロボット群は初期のインフラストラクチャを構築するために協調し自立することが求められる。例えば、ロボット群は協調するために、仲間の完全な配置を構築するために位置や軌道、方向など彼らの状態に関する情報を交換する必要があるかもしれない。しかし、ロボット群は最初に共通の座標系に一致しないかもしれない。従って、ロボット群が共通の座標系に一致する方法を提供することは、地理情報の交換に役立つ。ロボット間で座標系の合意に至ることは、分散ロボットシステムでもっとも本質的な問題の一つである。加えて、システムのロボット数が増加するにつれ、障害からの回復問題は顕著になる。

本稿では、二次元上の平面を移動するモバイルロボット群のグループから構成されるシステムを検討の対象とする。各ロボットは平面上のある地点を占有し、他のロボットの位置を観測するためにセンサーを備えている。各ロボットは(1) 環境の観測、(2) 観測された位置に基づいた行き先の計算、(3) 計算された行き先に向かって移動、を繰り返し継続する。さらに、ロボット同士は直接通信することができず、お互いの位置を観測することによりのみ相互作用が可能であり、全てのロボットは同じ決定性アルゴリズムを実行する。また、ロボットはメモリを持たないため、前の状態や行動、他のロボットが前にいた位置などの状態を把握しない。

このモデルで我々は、自律モバイルロボット群が unreliable センサーの下で行うことができることの基本的限界を特定することを目的として、計算方法論的視点からロボット間の協調問題に取り組む。具体的には基本的な協調問題、すなわち、ロボット群が事前に決定されていない場所へ自立的に集まらなければならない場合や、グローバル座標系などの支援を受けない集合問題に焦点を当てる。表現することが簡単であるかぎり、この問題は座標系の合意、すなわちロボット間の調和を壊すという問題固有の難しさを保持する長所がある。とりわけ、集合問題の解決は、ロボット群が共通の原点に一致する方法を提供することから興味深いことである。

先行研究では、メモリを持たないモバイルロボット群が平面上で集合することは、条件の追加なしには確定的に行われないことを示している。具体的に、ロボットが多数を検知できる、すなわち同じ場所を共有するロボットを数えることができるのであれば、3台以上のロボットの集合は可能である。もう一つの方法として、先行研究ではロボットがコンパスによって与えられる共通の方位(コンパスにより定義される北など)に関する知識を持つ場合、多数のロボットでも集合動作は可能であることを示している。しかし、これらの結果は全てのコンパスに欠点がなく、ロ

ボットが共通の方位に従う場合に限り有効である。

本稿では、コンパスが *unreliable* かもしれないモデルを定義する。また、異なる種類の *unreliable* コンパスを使い、異なる協調性モデルの下でメモリを持たないモバイルロボットの集合に関する解決可能性を検討する。より具体的には、二種類の *unreliable* コンパス、すなわち *eventually consistent* コンパスの種類、および *bounded errors* であるコンパスの種類について述べる。そして、これらのコンパスのもとで集合問題を決定的に解決するための可能なことと不可能なことのいくつかの結果を示す。

本稿には四つの重要な寄与がある。

第一の寄与は、ロボットがメモリを持たず限られた視界しか持たない状況下で、準同期モデルを用いた *eventually consistent* コンパスによる集合問題に取り組んだことである。具体的には、これらのコンパスが最終的に安定するのであれば、コンパスが不定的な長期間安定しないシステムでの問題を解決するアルゴリズムを提供する。

本アルゴリズムは、コンパスに一貫性が無い場合、コンパスが十分な時間安定した後、決定的に確率的な集合を解決可能である。我々のアルゴリズムは、ロボットのコンパスが最終的に安定するとき、任意の配置から回復することが保障される。我々のアルゴリズムは本質的に *self-stabilizing* であり、コンパスの様々な一時障害から回復することを主張する。

第二の寄与は、ロボットがメモリを持たず限られた視界しか持たない状況下で、*eventually consistent* コンパスによる非同期モデルの集合の解決可能性を調査したことである。具体的には、*eventually stabilizing* コンパスに依存し、有限時間で4台のロボットを集合させるアルゴリズムを提案する。さらに、準同期モデルのために開発した我々の *gathering* アルゴリズムが3台までの *eventually consistent* コンパスを備えたロボットの集合を解決することを示す。また、5台またはそれ以上の任意の期間不安定なコンパスを備えた非同期モバイルロボット群の集合が成功しないことを示す。

第三の寄与は、*inaccurate* コンパスを備えた自律モバイルロボット群の集合問題の解決に取り組んだことである。具体的には、 45° まで変わりえるコンパスを備えた二台のメモリを持たない非同期ロボットが、有限時間内に集合する *self-stabilizing* アルゴリズムを提供する。また、ロボット群は点で表されるのではなく、平面のある場所を占有する体積を持つロボットを考慮した場合にアルゴリズムが正確であると主張する。

第四の寄与は、集合問題解決のためにロボット群のコンパスの分岐点の *tight bound* を証明することにより、*inaccurate* コンパスによる集合の研究を拡張したことである。具体的には我々は、 180° 未満で変わりえるコンパスを備えた二台のメモリを持たないロボットが有限時間内に集合するための *self-stabilizing* アルゴリズムを示す。これは 180° まで変わりえるコンパスが情報を全く提供しないので、明らかに *tight bound* である。

第四の寄与は、第二の寄与にある通り、以前の分散円陣形成アルゴリズムの正確さの厳密な証明の構築により、先の円陣形成問題に関する研究を完了した。具体的には、ロボットが共通の座標系の知識を共有しないなど方向感覚を失い、メモリを持たない問題について検討した。アルゴリズムは、モバイルロボットのグループが準同期モデルのもとで *self-organize* と円陣形成動作を可能にする。提案したアルゴリズムでは、ロボット群が有限ステップ内で決定的に円陣を形成することを保障し、全てのロボットは円の境界上に均等に位置するよう集合する。何よりも円陣を形成する能力は、ロボットが原点と単位距離を合意できることを意味する。