

移動センサの一樣充填問題に対する分散解法の提案

和田 悦朗† 大下 福仁† 角川 裕次† 増澤 利光†

†大阪大学 大学院情報科学研究科

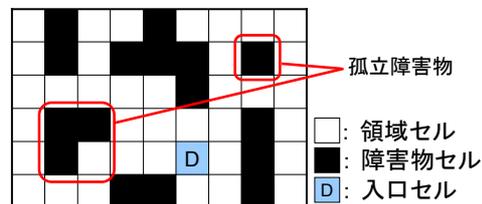
1 はじめに

センサネットワークとは、多数のセンサにより構築されるネットワークである。対象領域内にセンサを配置するにあたり、一樣均一にセンサを配置する問題が一樣充填問題として定式化されている。本稿では、一樣充填問題において、自律移動が可能なロボット（ロボティックセンサエージェント、以下、RSA と呼ぶ）を対象とした手法を示す。RSA とは自律移動可能なロボットにセンサを搭載したものであり、対象領域内に複数台の RSA を配置することでセンサネットワークを構築する。各 RSA は周囲の情報を基に対象領域内を移動することができ、人の侵入できない土地や未知の領域に対しても利用することができる。

文献 [1] では、直交グラフにモデル化された領域で動作する RSA の移動アルゴリズムが考案されており、各 RSA の記憶メモリ $O(1)$ 、視認半径 1 で動作可能である。しかし、文献 [1] のアルゴリズムは、隣接する障害物を辿り対象領域外に到達することのできない障害物（孤立障害物）を含まない領域のみを対象としている。また、各 RSA は終了判定を行っておらず、配置後も移動待機の状態を維持する。

本研究では、直交グラフの一樣充填問題に対して、以下の結果を示す。

- 孤立障害物を含まない領域に対して、RSA の視認半径 1 が一樣充填問題を解くのに必要十分である
- 孤立障害物を含まない領域に対して、セルへの同時侵入を許可する場合、各 RSA が終了判定を行う視認半径 1 のアルゴリズム
- 孤立障害物を含む領域に対して、セルへの同時侵入を許可する場合、各 RSA が終了判定を行う視認半径 3 のアルゴリズム

図 1: 対象領域 M の例

2 モデル

対象領域は、 $m \times n$ セルの直交グラフ M で定義される。 M を構成するセルは領域セル、障害物セル、入口セルのいずれかである（図 1）。領域セルは、RSA が滞在可能なセルである。また、1 つの領域セルの大きさは、1 台の RSA のセンシング範囲で十分に覆えるものとする。障害物セルは、RSA が滞在不可能なセルである。また、障害物セルのみを辿り対象領域外に到達することのできない障害物セルの集合を孤立障害物と定義する。入口セルは、新たな RSA が対象領域内に侵入するセルである。RSA は、入口セルからのみ対象領域内に侵入する。入口セル上に RSA が存在しない場合、すぐに新しい RSA が入口セルに出現する。各 RSA は入口セルと領域セルを識別することはできない。また、入口セルは対象領域内に 1 個のみとする。

一樣充填問題とは、入口セルから順次対象領域 M に侵入してくる RSA を、 M の各セルに 1 台ずつ配置することである。この問題を解くために、各 RSA が自律的に移動経路を決定するためのアルゴリズムを考える。ただし、全 RSA が最終的に特別な終了状態になり、それ以降、一切動作しないとき、このアルゴリズムは終了判定を行うという。

各 RSA は $O(1)$ の記憶メモリと定数の視認半径をもち、対象領域内に侵入する際、指定された初期状態で入口セル上に侵入する。視認半径とは、各 RSA が情報を取得可能な距離である。視認半径を n としたとき、RSA 中心とした一辺 $2n + 1$ の正方形で囲まれた範囲を視認範囲と呼ぶ。各 RSA は、視認範囲内のセルの情報のみを取得できる。取得できる情報は、各セルが領域セル、障害物セルのいずれかであるかの識別、各セルに存在する RSA の台数である。各 RSA の向きや状態を識別することはできない。また、各 RSA はコンパスを

Distributed Algorithms Using Robotic Sensor Agents for Uniform Filling Problem

†Etsuro Wada †Fukuhito Oshita †Hirotsugu Kakugawa †Toshimitsu Masuzawa

†Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

持ち、全 RSA で共通の方角を認識している。

各 RSA の動作は準同期とし、ステップ単位で動作を行う。ある RSA a があるステップ A で動作するとき、“センシング 内部計算 移動(待機) センシング 内部計算”の一連の動作を、ステップ A で動作する全ての RSA と同一のタイミングで行う。ただし、全ての RSA が各ステップで必ずしも動作するとは限らない。すなわち、任意のステップ A では、任意の RSA の集合 S がスケジューラによって選ばれ、 $a \in S$ を満たす RSA a のみがステップ A で動作する。また、どの RSA も任意のステップ A 以降で一度も S に選ばれないことはないものとする。

RSA の動作として、同時侵入を定義する。同時侵入とは、あるステップにおいて、あるセルに複数台の RSA が同時に滞在することである。同時侵入を許可しない場合、各セルに対して、RSA が常に高々1台しか同時に滞在してはならない。

3 提案手法

以降では、孤立障害物を含む領域 M に対して、同時侵入を許可する場合に、一様充填問題を解く視認半径 3 のアルゴリズムのみを示す。

3.1 概要

文献 [1] のアルゴリズムでは、視認半径 1 で得られる局所的な情報を利用し、孤立障害物を含まない対象領域内に入口セルを根とした一意な木状の経路を作成する。この経路を利用し、経路の奥から順に深さ優先探索の後置順で RSA を配置することにより、一様充填問題を解いている。

孤立障害物を含む領域で文献 [1] の手法を利用した場合、移動経路にサイクルが存在するため、単純に深さ優先で RSA を配置するだけでは解くことができない。提案アルゴリズムでは、サイクルを含む経路上に RSA を配置し、かつ、全 RSA が終了状態に遷移する。

3.2 方針

孤立障害物を含む領域では、経路がサイクルを含んでいるため、木状の経路とは違い、単に奥から配置するだけでは全てのセルに RSA を配置することはできない。そのため、提案アルゴリズムでは、サイクルを含む経路を擬似的に木状の経路に変換し、深さ優先探索の後置順で RSA を配置する。RSA は列を形成し、入口セルから深さ優先で経路を進行する。進行経路中に分岐 t が現れたとき、進行方向以外の隣接セルに RSA を仮配置する。仮配置された RSA は、進行中の経路が

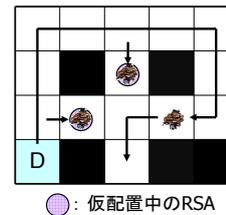


図 2: 分岐点での RSA の仮配置

配置済みになるまで擬似的な障害物となり、別経路から分岐 t に移動することを防ぐ。進行中の経路が配置済みとなったとき、仮配置された RSA が新たに列の先頭となり、深さ優先での移動を再開する。各分岐で上記操作を行うことにより、サイクルを含む経路を擬似的に木状の経路に変換することができ、擬似的な木状の経路に深さ優先探索の後置順で RSA を配置していくことができる(図 2)。

RSA が列を作り移動する際、任意の RSA a は通常時には前方の RSA b との間に少なくとも 1 つの空きセルを保ちながら移動する。しかし、これでは全セルに RSA を配置することができない。そのため、 a は前方の RSA b が終了状態であると判断したとき、 b の隣接セルに移動して終了状態に遷移する。視認半径 3 であり、 a は b の奥のセルの情報まで取得可能であるため、 b がこれ以上移動不可能であることを認知できる。このとき、 a は b が終了状態であると判断する。以上を繰り返すことにより、擬似的な木状の経路の葉から順に終了状態を伝播する。

なお、詳細は省略するが、仮配置された RSA を識別するために、同じセルに複数台の RSA が存在する状況(同時侵入)を利用している。

4 まとめ

本稿では、孤立障害物を含む領域における一様充填問題に対して、全 RSA が配置後終了状態に遷移可能な移動アルゴリズムを提案した。提案アルゴリズムでは、RSA のモデルとして、準同期、視認半径 3、同時侵入許可を利用したが、今後は更に厳しいモデルのもとで、一様充填問題を解くアルゴリズムを考察していく。

参考文献

- [1] Barrameda, E. and Das, S. and Santoro, N. “Deployment of Asynchronous Robotic Sensors in Unknown Orthogonal Environments”, Fourth International Workshop, Algorithmic Aspects of Wireless Sensor Networks: pp.125–140, July 2008.