

複数移動センサによる複合的な協調観測のための非集中型制約最適化の検討

松井俊浩†

名古屋工業大学†

1 はじめに

複数の移動センサによる協調的な観測を、広域観測や危険区域の探査などへ適用する方法が検討されている。このような観測エージェントには観測領域を分担しつつ、探査、巡回、注視、通信の中継などの異なる要求を複合的に達成することが求められ、各要求に固有の手法を統合するための問題の表現と解法が必要となると考えられる。

本研究では、建物内や構内を移動し観測するエージェント群の観測領域の分割を基礎として、他の関連するタスクを複合的に実行する状況を想定し、これらの調整のために非集中型の制約最適化としての問題の記述と解法の導入を試みる。初期の例題についてシミュレーションにより提案モデルの方針について検証する。

2 準備

2.1 移動センサ群による観測問題

本研究では、危険区域や建物内などを観測する自律的な移動センサ群を想定する。観測においては、探査や巡回、特定の対象の観測などの目的が考えられる。それらを分散協調的に達成する際に、それぞれのタスクに含まれる競合解決などの意思決定を記述し解決する、汎用的な枠組みが有用であると考えられる。

初期の例題として、グリッド状の領域において、探査および、特定の位置の目標の捕捉を分担する移動センサ群を想定する。移動センサは視野を持ち、担当する観測範囲を巡回する。その分担範囲を決定することが基本的な目的である。また、臨時に一部の探査を中断して特定の目標領域への配備が求められる。

探査範囲の分配および、探査と目標の観測の役割分担からなる問題の基礎的な形式化とそれらに特有な問題に含まれる基礎的な意思決定を統合する解法の枠組みについて検討する。

2.2 分散制約最適化

分散制約最適化問題は、エージェント間に分散して配置された離散最適化問題である [1]。各エージェント

の状態や意思決定と、それらの関係を変数、制約および目的関数により表現する。系全体の制約を充足し、目的関数を最適化する解を、エージェント間の情報交換を伴う非集中型の解法により求める。

様々な厳密、非厳密解法が提案されているが、実際的な問題では、制御に必要なグラフ構造などが簡単な、近傍エージェント間の情報交換に基づく局所探索手法の適用から検討を進めることが妥当である。

3 提案手法

解法の全体的な枠組みは、移動センサエージェントの役割を決定する上位の階層と、探査領域の分担を決定する下位の階層の各処理を反復的に並行する。ここでは議論を簡単にするため、他の役割や更に下位の移動に関する部分を除いたモデルを用いる。

3.1 観測担当領域

観測担当領域はグリッド状の領域を分割する表現を用いる。観測のために移動センサが巡回する範囲であることを考慮し、基本的には各領域の面積の均等化を目指す。また、屋内等の障害物の影響を考慮し非凸領域の分割に対応する。このために、容量制約付きボロノイ分割 [2] のように領域のサイズを考慮する領域表現を用いる。ただし、領域のサイズは動的に均衡化する。生成点に相当する座標は担当領域の座標の平均値に最も近い領域内の位置で近似し、領域の外周部分までの距離を求めるためにのみ用いる。各移動センサエージェントは担当領域の情報を交換し、近接する担当領域との間で周辺部分を授受する。このとき、面積の差が大きい相手を優先し、近似された生成点より最も遠い周辺部分を譲渡する。

離散的な領域における発見的な領域授受により細かな領域の断片が発生しうる。その一方で、動的な環境や役割分担の変更により発生しうる未割当の探査領域への対処が必要であるため、このような状況を許容し、近似された生成点から非連結な領域を検出したエージェントは、その領域を未割当領域とする。未割当領域は、近接する担当領域に段階的に吸収される。

担当領域における競合などは、互いの領域情報を交換する際に、各セルの更新時刻やエージェントの識別番号によりタイブレークすることで解消できる。その

Study of Decentralized Constraint Optimization for Composite and Co-operative Observation by Multiple Mobile Sensors

†Toshihiro Matsui · Nagoya Institute of Technology

一方で、領域の授受の相手の選択では、領域を譲渡する相手が領域の近接部分を他に譲渡するなどの矛盾を解消するために、競合の解決が必要となる。そこで、エージェントの行動を、1) ある近接領域への譲渡と、2) 受け入れの二択とし、それらが無矛盾となる制約を充足し、最も受け入れ量の合計が大きいエージェントを優先する分散制約最適化問題を解く。

3.2 役割分担

移動センサエージェントは、通常は担当領域の探索を行う一方で、その一部は臨時に発生する特定位置の対象を捕捉するための優先度の高い役割を分担する。このとき、最も近い位置のエージェントを選択することや、役割を交換することにより、担当領域の情報の再構築を抑制するなどの条件からなる問題を解決する。

エージェントの行動は、1) 探索、2) 特定位置の対象の捕捉、3) 他のエージェントとの役割の交換である。上位の役割への競合を禁止する制約、上位の役割の非選択コスト、捕捉対象への推定移動距離、観測担当領域を放棄するなどのコストを階層的に結合したコスト値を評価値とする分散制約最適化問題を解く。役割分担の競合解決と並行して、各エージェントは役割に応じた階層における競合解決や処理を実行する。

3.3 非集中型解法

各分散制約最適化問題を、MGM [1] に類似する局所探索に基づく解法により解く。手順は次のようである。

- 1) 各エージェントの行動選択の評価に必要な情報を交換する。
- 2) 各エージェントは自身の最良の行動の評価値を求め、解法における近傍エージェントと交換する。
- 3) 近傍のうち最良の評価値とそのエージェントの識別番号を交換する。
- 4) 自身が最良の評価値のエージェントであれば、解を決定し、近傍エージェントに通知し交渉を終了する。
- 5) 全てのエージェントが終了するか打ち切り回数になるまで、解法を繰り返す。上位の階層の解に基づいて以降の役割が決定され、下位の階層の問題が解決される。

4 評価

シミュレーションによる動作の例を示す。図1に、担当領域を拡大しつつを分割する例を示す。図2では、ステップ20において、捕捉対象の位置が指定され、役割分担が変更されている。またステップ30において、捕捉対象の位置が変更され、最寄のエージェント3の役割を変更する際に、他のエージェント2と役割交換する行動が選ばれ、観測担当領域が引き継がれている。

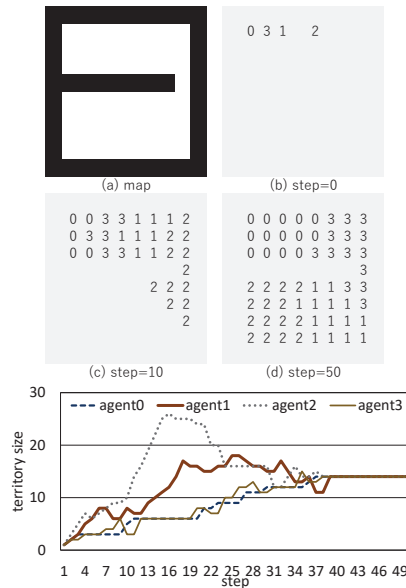


図1: 環境1, 4 エージェント, 観測担当領域

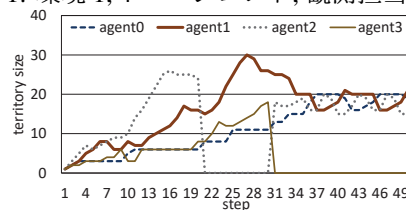


図2: 環境2, 4 エージェント, 観測担当領域

5 まとめ

複数の移動センサによる協調的な観測のための複数の階層からなる複合的な協調処理に現れる競合解決の汎用的な枠組みとして分散制約最適化のアプローチを適用する枠組みを検討した。より実際のかつ詳細な問題および実装における評価と、階層間の分散制約最適化問題により強い関係がある問題の分析などが今後の課題である。

謝辞 本研究の一部は、公益財団法人立松財団一般研究助成による。

参考文献

[1] Ferdinando Fioretto, Enrico Pontelli, and William Yeoh. Distributed constraint optimization problems and applications: A survey. *JAIR*, Vol. 61, pp. 623–698, 2018.

[2] Michael Balzer, Thomas Schlömer, and Oliver Deussen. Capacity-constrained point distributions: A variant of Lloyd’s method. In *ACM SIGGRAPH 2009*, 2009.