

分散制約最適化問題の局所探索解法の 出版-購読型通信基盤への実装のための基礎検討

松井俊浩 †
名古屋工業大学 †

1 はじめに

分散制約最適化問題 [1] は、複数エージェントシステム上の組み合わせ最適化問題と非集中型の解法に注目する研究分野であり、分散資源割り当てや合意形成の基礎として研究されている。多数の分散型の最適化アルゴリズムが提案されている一方で、実環境の通信系を用いた解法の実装のためには、さらに検討が必要である。本研究では、実際のシステムの設計や実装の初期段階で用いられる局所探索手法を、IoT エッジ機器やロボット制御の通信に用いられる出版-購読型通信基盤に実装するための基礎検討として、解法の実装の枠組みと通信品質の影響を含む性能を評価する。

2 従来研究

2.1 分散制約最適化問題

分散制約最適化問題 (DCOP) [1] はマルチエージェントシステム上の組み合わせ最適化問題である。問題は、1) エージェントの集合 A , 2) 変数の集合 X , 3) 変数の値域の集合 D , 4) 制約の評価関数の集合 F , から成る。変数 x_i は値域 $D_i \in D$ に含まれる離散値を取る。本研究では、各エージェント $a_i \in A$ が単一の変数 x_i を持ち、評価関数が2項関数である、基礎的な DCOP を対象とする。エージェントの変数はその状態や意思決定を表し、評価項関数はエージェント間の関係を表す。非負整数値の評価関数 $f_{i,j}(x_i, x_j) \in F$ により x_i と x_j の効用を評価する。全ての評価関数値の合値を最大化する変数値の割り当てが最適解である。エージェント a_i は x_i の値を決定できる。また、 x_i に関する評価関数について、相手の変数 x_j の値域の知識を持ち、自身を中心とする局所的問題の部分解を評価する。

DCOP の解法は、最適解を得る厳密解法と、準最適解を得る非厳密解法に分類される [1]。特に、応用システムの実装の初期の検討では、比較的プログラミングが容易な、局所探索型の解法が用いられる [2]。

2.2 DCOP の基礎的な局所探索アルゴリズム

MGM [1] は、各エージェントが近傍のエージェントと情報交換し、局所探索を実行する基本的な解法である。各エージェントは、近傍エージェントの変数値からなる部分解を保存するビューを持つ。この解法は同期型の解法であり、下記の手順からなる。1) 初期状態において、各エージェントは現在の自変数値を決定する。2) 各エージェントは、現在の自変数値を、近傍エージェントに同報する。そして、近傍エージェントの現在の自変数値を受信し、ビューを更新する。3) 各エージェント現在のビューの部分解の下で、効用を最大化する自変数値を探索し、効用の増加分を求め、近傍エージェントに同報する。4) 各エージェントは、近傍エージェントから受信した効用の増加分を比較する。自身の増加分が他の近傍エージェントよりも大きいエージェントは、その効用に対応する変数値を選択する。5) 上記2の手順から解法を反復する。

2.3 出版-購読型モデル

出版-購読型 (Publish/Subscribe) [3] モデルはメッセージ指向の通信の枠組みの一種であり、MQTT や ROS2 の DDS など、IoT やロボット向けの通信の基礎として普及している。一般的な通信系は次の構成要素から構成される。1) 出版者: メッセージを出版する。基本的にはメッセージの購読者を意識することはない。2) 購読者: 出版者が発信したメッセージのうちで、必要なものを購読する。3) ブローカ: 出版されたメッセージの伝達を仲介する。明示的なブローカを用いることなく、同報通信への依存性が高い方式もある。

特に、主要な出版-購読モデルのフレームワークで採用されている、トピックに基づくモデルを対象とする。また、明示的なブローカが無い簡単な系を対象とする。通信のオーバーヘッドが比較的小さいが、QoS 設定が比較的低く、一部の通信品質が保証されない系を対象とする。

2.4 従来研究: 実時間性とメッセージの欠落への対応

従来研究 [3] では、MGM のような局所探索アルゴリズムを、比較的低い QoS の、出版-購読モデルの通信

A Study Toward Implementation of Local Search Methods for Distributed Constraint Optimization Problems on Publish/Subscribe Communication Platforms

†Toshihiro Matsui · Nagoya Institute of Technology

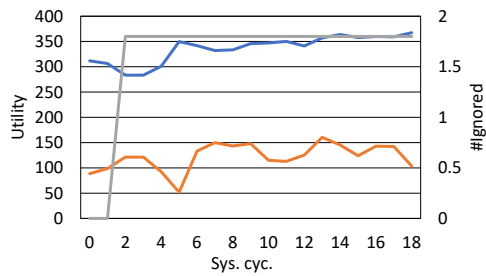


図 1: 無視するエージェントについて上界値を評価

基盤上に実装することを想定した検討をしている。特に、実時間性が要求される系で、一時的に通信が損なわれたエージェントを一時的に無視して、解法を継続し、解を得る方法に注目している。ここでは、MGMの探索の計算と、出版-購読の通信を非同期なタイミングで動作させることを許容し、再送の機会を得る一方で、独自のバリア同期により、解法の段階を進める。メッセージが一時的に受信できないエージェントを除外する際に、協調して探索を継続するエージェントは、協調から外れたエージェントによる部分解の評価値の境界を考慮し、自変数値を探索する。従来研究は、比較的簡単なシミュレーションにより、メッセージの再送の機会や、協調から外れたエージェントの行動を、楽観的/厭世的に評価する場合の影響などを調査しているが、さらに実環境における評価が必要である。

3 実装による評価の検討

従来研究と同様の手法を実環境に実装して評価するための基礎検討をする。実装の基盤として、ROS2の通信系を用いる。従来手法でモデル化されたように、出版、購読、解法の処理の各段階の処理をコールバックメソッドとして実装する。出版と、解法の処理はタイマにより周期的に実行されるようにし、その間隔を調整して受信の機会を変化させる。購読のコールバックのタイミングは、既定のブロッキング処理によるものとした。通信品質の影響については、先ず非同期性がある状況における通信への影響を、実環境で評価することに注目した。従来研究と同様に、各エージェントは、一定回数、自身の探索と同期できるメッセージを受信できなかった近傍エージェントを、通信から除外する。また、自身のビューに現在のの変数値の情報が無いエージェントについては、そのエージェントが取りうる解による効用の上界値や下界値を用いる。

4 評価

提案手法を実験の初期評価の結果を図1と2に示す。これらは、10値の値域を持つ10変数/エージェント、10

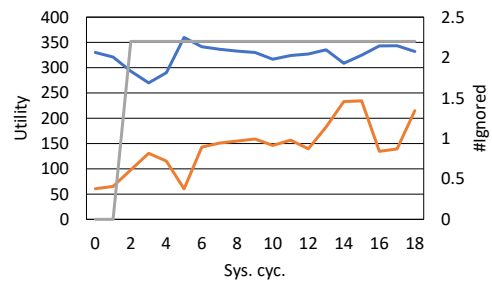


図 2: 無視するエージェントの現在の解を観測

個の2項制約から成る問題の、初期の解法の段階の事例である。上下のグラフが各エージェントの効用値の上下界値の合計を半分に正規化した結果である。安定した同期通信の下では、本来のMGMは決定論的に動作し、系全体の評価値の合計は単調に変化するが、通信の乱れにより、解品質の境界値の変化が比較的大きい。その一方で、解品質の境界値は若干改善する場合も見られた。また、初期段階で立ち上がるグラフは、各エージェントが無視したエージェント数の平均値である。この設定では、通信品質の影響を強調するため、無視されたエージェントが協調に回復する条件を除外している。また、特に、各エージェントの起動のタイミングのずれにより、無視されるエージェントが増加している。その一方で、エージェントは処理を継続した。同様の条件で、欠落したエージェントへの対策をしなかった場合は、解法が中断した。

5 まとめ

出版-購読型のメッセージ指向プラットフォームにおける分散制約最適化手法の実装方法について検討し、実機上での初期の評価を行った。小規模な系のために、影響が比較的小さいが、従来手法のアプローチによる解法の継続の効果が見られた。大規模な系や異なる性質を持つ問題を含む実際的な環境での評価、解法の適切な設定の分析などが今後の課題である。

謝辞 本研究の一部は、公益財団法人電気通信普及財団2022年度研究調査助成および、科研費基盤研究(B)22H03647による。

参考文献

- [1] Fioretto et al. Distributed constraint optimization problems and applications: A survey. *JAIR*, Vol. 61, pp. 623–698, 2018.
- [2] Roie Zivan, Robin Glinton, and Katia Sycara. Distributed constraint optimization for large teams of mobile sensing agents. In *2009 IEEE/WIC/ACM International Joint Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology*, Vol. 2, pp. 347–354, 2009.
- [3] Toshihiro Matsui. An Investigation of Distributed Constraint Optimization with Non-Responding Agents Toward Real-Time Solution Method on Practical Messaging Platforms. In *16th International Conference on Agents and Artificial Intelligence*, 2024.