

分散制約最適化問題における局所負荷分散手法の提案

齋藤倫紀[†]能登正人[†]神奈川大学工学部 電子情報フロンティア学科[‡]

1 はじめに

近年、人工知能分野において自律ロボット群による分散協調システムや、多数のエージェントによる最適な行動を自律的に学習するマルチエージェントシステムに関する研究が盛んに行われている。これらの研究では、最適な解を導き出すことが重要であり、それには問題を正しく定式化する必要がある。その定式化の1つとして分散制約最適化問題 (Distributed Constraint Optimization Problem: DCOP) がある。DCOP は分散制約充足問題を拡張した問題であり、より柔軟に解を得ることができる。そして、優れた完全解法として非同期分散最適化手法 (Asynchronous Distributed OPTimization: ADOPT) [1] が提案されている。ADOPT は全体の制約違反を最小にすることで解の最適化を行う。しかし解の配置によっては全体の制約違反が最小になったとしても局所に制約違反が集中してしまう場合がある。このような局所負荷を分散することができれば周波数割り当て問題のような資源割り当て問題において、より効率的な割り当てができると考えられる。

本研究では、ADOPT における既存のメッセージ通信に、新たなメッセージを追加することで局所負荷の分散を考慮した ADOPT の提案を行う。また、シミュレーションには周波数割り当て問題を用いて、既存方法と提案方法を比較して評価を行う。

2 非同期分散最適化手法 (ADOPT)

非同期分散最適化手法 (ADOPT) とは、最適解を導き出せることが保証されている DCOP の解法である。この手法は与えられた問題の制約グラフを親子で定義された深さ優先探索木として形成し、メッセージ通信によって解をアップデートしていく。これらのメッセージは VALUE メッセージ、COST メッセージ、THRESHOLD メッセージなどである。これにより受信した情報を基に各エージェントは変数の変更やメッセージの送信を行う。この処理を繰り返し、全体のコストを最小にすることで最適な解を得ることができる。

3 提案手法

図 1 に提案するメッセージ通信を示す。ADOPT では、各エージェントはメッセージ通信により近傍エー

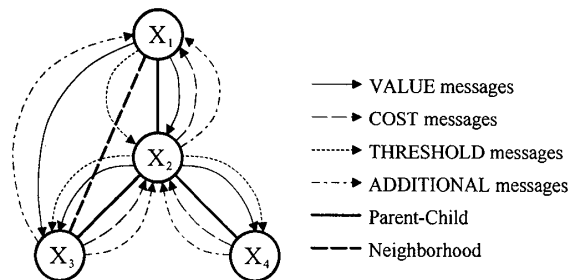


図 1: 提案メッセージ通信

ジェントとの間で情報を送受信し、非同期に解をアップデートしていく。下位エージェントから上位エージェントへ情報を送信するメッセージは COST メッセージのみであるが、このメッセージは上位エージェントでも親エージェントにのみ情報を送信するため、上位の近傍のみの関係にあるエージェントへ情報を送信するメッセージは存在せず、上位エージェントは近傍のみの関係にある下位エージェントとの間のコストを知ることができない。また、エージェントは同一の最小コストを算出する変数が複数存在する場合、変数の選択にはランダムで選択するか、最後に検出された変数を選択するかなど、作成されたアルゴリズムに依存している。これにより、この近傍のみの関係間に負荷が発生する変数が選択される可能性があり、問題の解配置によっては局所的に負荷が集中してしまう場合がある。よって本研究では、この局所的な負荷を分散させるために同一の最小コストを算出する変数が複数存在する場合、上位近傍エージェントへ情報を送信する ADDITIONAL メッセージの追加を提案する。これにより既存手法では知ることができなかった近傍エージェント間のコストを知ることによって、局所負荷の集中を抑えられる変数を選択できるようになる。

また本手法は局所負荷の集中を分散させるためにメッセージを追加するが、複数の最適変数の中から負荷分散可能な解を選択するため、ADOPT の利点である全体の総コストを最適化する処理自体には影響がなく、最適解を導き出せる保証があることに変わりはない。

4 シミュレーション実験

4.1 周波数割り当て問題

シミュレーションは周波数割り当て問題に適用して評価を行う。周波数割り当て問題とは、各基地局の通信領域が隣接する基地局の通信領域と異なる周波数帯

Local Load Balancing Technique in Distributed Constraint Optimization Problems

[†]Michinori SAITO and Masato NOTO

[‡]Department of Electronics and Informatics Frontiers, Kanagawa University

周波数帯域	3	
ノード数	10 ~ 70	
リンク数	20 ~ 140	30 ~ 210
リンク密度	2	3

域を使用するように周波数帯域を割り当てていく問題である。各基地局の通信領域をエージェント、周波数帯域をノードがもつ変数とみなすことでADOPTに適用することができる。制約違反が発生した通信領域間では各基地局の利用可能な通信容量は同一の周波数帯域を共用する基地局の数の分だけ反比例して分割されることになる。つまり、制約違反となる通信領域が局所的に集中すればするほどその基地局の通信容量は減少する。よって、局所的な負荷を分散させることで各基地局の通信容量の減少を抑えることができ、これにより効率的な周波数帯域の割り当てが可能となる。

4.2 評価方法

表 1 にシミュレーションに使用したパラメータを示す。リンク密度 L はリンク数をノード数で割った値である。また、リンク密度は周波数帯域数が 3 の場合、 $L = 2$ では制約を充足しやすく、 $L = 3$ では過制約となることが多く制約違反が発生しやすい。

このパラメータを用いて最低通信容量で評価する。最低通信容量とは制約違反がなく周波数帯域を割り当てられたときの各ノードの通信容量を 1 としたとき、すべてのノードの中で一番低い値をもつ通信容量のことをいう。この最低通信容量の値が低ければ低いほど局所に負荷が集中していることとなる。また、制約違反なく周波数帯域が割り当てられれば最低通信容量は最大値の 1 である。

5 結果と考察

図 2, 図 3 に $L = 2, L = 3$ のときのノード数と最低通信容量の関係を示す。シミュレーション結果より、 $L = 2, L = 3$ のどちらの場合も従来手法より最低通信容量が増加し、局所負荷の集中を抑えることができたといえる。これは新しいメッセージを加えたことにより本来知ることができなかった近傍エージェント間のコスト情報を知ることにより、そのエージェント間の負荷を分散させることができたためだといえる。また、リンク密度で比較すると $L = 2$ (図 2) に比べて $L = 3$ (図 3) では最低通信容量全体の値が低いのがわかる。これはリンク密度が高くなればなるほど制約違反数が多くなり、局所に負荷が集中してしまうためだと考えられる。

6 おわりに

本研究では、DCOP の解法である ADOPT に全体の制約違反を最小に抑えつつ、局所負荷の分散を考慮し

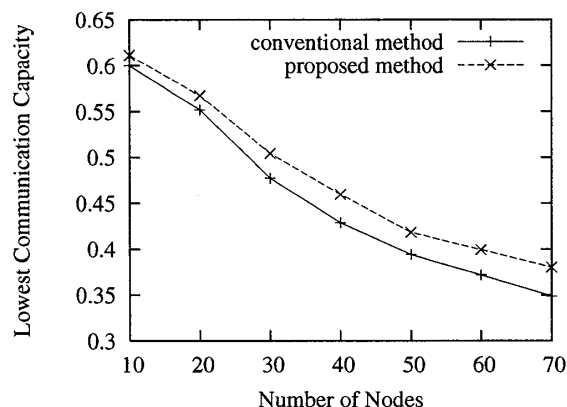


図 2: 最低通信容量 ($L = 2$)

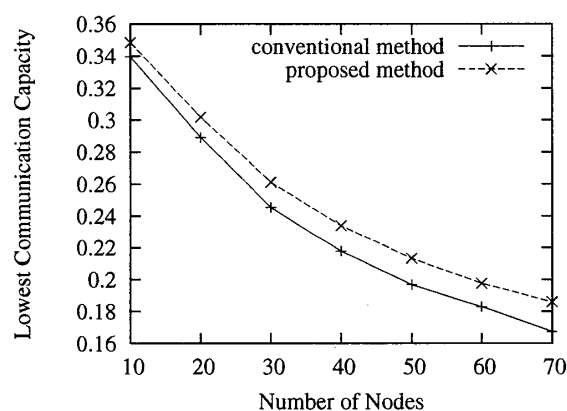


図 3: 最低通信容量 ($L = 3$)

た手法を提案した。シミュレーション実験の結果より、周波数割り当て問題では提案手法を利用することで局所負荷を分散することができた。また、センサーネットワークなどの他の資源割り当て問題にも提案手法は有効であると考えられる。今後の課題としては、処理内容の増加による処理時間の遅延の改善や、他の資源割り当て問題に本手法を適用し評価することなどが挙げられる。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省ハイテクリサーチセンター整備事業の助成金によって行われた。

参考文献

- [1] Modi, P. J., Shen, J. W., Tambe, M. and Yokoo, M.: Adopt: Asynchronous Distributed Constraint Optimization with Quality Guarantees, *Artificial Intelligence*, Vol. 161, No. 1-2, pp. 149-180 (2005).