

資源割当問題向き協調問題解決手法の検討

5 G-8

村山 隆彦 和氣 弘明 土田 尚純 服部 文夫

NTT 情報通信網研究所

1 はじめに

ネットワークなどの限られた資源を複数の経路設定などの要求に割り当てる資源割当問題に対して、従来から解析的な手法が試みられている。しかし、規模が大きくなり、さらに要求が動的に変更されるような状況では、実用的な時間で最適解を導出することは困難である。このような場合、地域性を前提として、問題空間を分割する手法が一般的である。

本稿では、地域性のない場合を想定して、要求という側面から問題を分割し、動的な変更への対応を考慮した手法として、要求にマッピングされたエージェント間の協調により資源割当問題を解く手法について検討する。

2 資源割当問題

2.1 問題の定義

本稿では、資源としてネットワークを、要求として経路設定を考える。容量を持つエッジからなる無向グラフで表されたネットワークにおいて、各エッジの容量を超えないように、ノード間に要求を満たす容量の経路を設定する問題を、ネットワーク資源割当問題と定義し、以下のように定式化する。

$$\begin{aligned}
 &NW = (G, c) : \text{ネットワーク} \\
 &G = (N, E) : \text{無向グラフ} \\
 &N = \{n_1, n_2, \dots, n_M\} : \text{ノードの集合} \\
 &E = \{e_1, e_2, \dots, e_L\} : \text{エッジの集合} \\
 &= \{e_{ij} \mid \text{ノード } n_i - n_j \text{ 間のエッジ, } i \neq j\} \\
 &c(e_i) : \text{エッジ } e_i \text{ の容量} \\
 \\
 &R = \{r_1, r_2, \dots, r_Q\} : \text{経路設定要求の集合} \\
 &= \{r_{ij} \mid \text{ノード } n_i - n_j \text{ 間の経路設定要求, } i \neq j\} \\
 &c(r_q) : \text{経路設定要求 } r_q \text{ の要求資源量} \\
 &a(r_q, e_i) : \text{経路設定要求 } r_q \text{ に対するエッジ } e_i \text{ への割当資源量} \\
 \\
 &\text{と定義した時, } NW = (G, c) \text{ において, エッジの容量制約:} \\
 &\sum_{r_q \in R} a(r_q, e_i) \leq c(e_i) \quad \text{for } \forall e_i \in E \\
 \\
 &\text{及び, 資源割当の接続制約 (流量保存則):} \\
 &\begin{cases} \sum_j a(r_{ab}, e_{aj}) = c(r_{ab}) & : \text{端点 } n_a \\ \sum_i a(r_{ab}, e_{ib}) = c(r_{ab}) & : \text{端点 } n_b \text{ for } \forall r_{ab} \in R \\ \sum_i a(r_{ab}, e_{im}) = \sum_j a(r_{ab}, e_{mj}) & : \text{その他} \end{cases} \\
 \\
 &\text{を満たす経路設定要求 } R \text{ に対する解 } a(r, e) \text{ を求める.} \\
 &\{a(r, e) \mid \forall r \in R, \forall e \in E\}
 \end{aligned}$$

A Study of Cooperative Problem Solving Suited for Resource Allocation
Takahiko Murayama, Hiroaki Waki, Hisazumi Tsuchida, Fumio Hattori
NTT Network Information Systems Laboratories

2.2 従来の動向

ネットワーク資源割当問題に対して、カーマーカー法 [1] などの解析的なアルゴリズムが提案されている。しかし、このような問題は本来 NP 完全であるため、規模が大きくなると実用的な時間で最適解を導出することは困難である。さらに、要求が動的に変更されるような状況においては、より困難となるが、一方、最適解を求める必要性もあまり高くない。

このような場合、問題をいくつかに分割してそれぞれの部分問題をエージェントに受け持たせ、そのエージェント間の協調により許容解を求める手法が提案されている [2]。特に、地域性を前提として問題空間を分割する (地域分割) 手法が一般的であるが、必ずしも都合良く分割できるとは限らない。

そこで、地域性のない場合を想定して、要求という側面から問題を分割し (タスク分割)、要求にマッピングされたエージェント間の協調により、動的に変更される要求にも対応できるような協調問題解決手法を試みる。

3 協調問題解決手法

3.1 処理の概要

本手法は、要求にエージェントをマッピングし、各エージェントによる問題解決とエージェント間の協調によって解を求めようとする手法であり、処理は以下の 2 フェーズからなる。

1. 各エージェントによる初期解の算出
2. 複数エージェント間のネゴシエーション

第 1 フェーズは各エージェントが非同期独立に行う処理、第 2 フェーズは任意の複数のエージェント間における処理を示しており、それぞれのフェーズが完全に切れるものではない。以下、各フェーズにおける処理を示す。

3.2 各エージェントによる初期解の算出

各エージェントは、エンド-エンド間の経路設定要求を満たすようなエッジの集合を独自に確保する。各エージェントにとってどの経路を選択するかは独自の判断 (例えば、最短経路、コスト最少経路など) で行えばよく、限定しない。

各エージェントが独自に確保することを考慮すると、エージェント間の利害の対立が起こり得る。そこで、第 2 フェーズのネゴシエーションを削減するために、ボトルネックとなってしまうような経路を選択しない、というような戦略が有効である。

3.3 複数エージェント間のネゴシエーション

各エージェントで独自に確保した資源が各エッジの総容量を超えていないかチェックし、容量制約違反を起こしている場合、ネゴシエーションによって回避する。ネゴシエーションの戦略として、迂回候補探索のコストが小さい、回避による各エージェントの効用の減少が小さい、などが挙げられる。

4 実験と検討

4.1 概要

問題を部分問題に分割し、それぞれの部分問題を担当する各エージェントによって解決しようとする場合、部分問題解決ができるだけそのエージェント内に閉じており、他のエージェントに影響を及ぼさないとき、有効な手法といえる。そこで、前章で述べた手法の有効性を検証するため、簡単な実験を行った。以下にその概要を示す。

図1に示すような格子状に均一に接続されているノード数 $n \times n$ のネットワークを想定し、ネットワークの左上から右下、及び左下から右上の経路設定要求を与える。地域分割はこのネットワークを2分割し、左右それぞれの領域内の資源割当を各エージェントが受け持つ(図1.a)。タスク分割はそれぞれの経路設定要求を各エージェントが受け持つ(図1.b)。経路設定要求、及びエッジの容量はそれぞれ1とし、各エージェントは、独自に割当を行い、初期解を求める。

各エージェントによる割当結果の突き合わせチェックの際、地域分割の場合、境界面における割り当てられたエッジが異なっていたとき、タスク分割の場合、同一のエッジを割り当てていたとき、それぞれネゴシエーションが発生する。

4.2 検討

ネットワークの規模に対するエージェント間のネゴシエーションの発生確率及び、平均ネゴシエーション数(発生箇所)を図2に示す。図のように、ネットワークの規模が大きくなるに従って、地域分割の場合、境界面の不一致の可能性が大きくなるため、ネゴシエーションの発生確率が增大する。一方、タスク分割の場合、ネゴシエーションは交差点でのみ発生するため、相対的に発生確率が減少する。さらに、ネゴシエーションが発生する場合も、タスク分割の場合、平均1箇所のみであるため、回避し易いといえる。

ネゴシエーションが少ない、ということは部分問題解決がエージェント内に閉じている、ということを示すものであり、他のエージェントに影響を及ぼす可能性が小さく、動的な経路設定要求の変更にも好ましいといえる。以上、地域性のない比較的大きなネットワーク上では、経路設定要求にエージェントをマッピングすることにより、経路設定要求が動的に変更されるような場合にも対応できる可能性を示した。

5 おわりに

ネットワークなどの限られた資源を複数の経路設定などの要求に割り当てる資源割当問題において、地域性のない大規模なネットワーク上で動的な要求の変更がある場合に有効な手法として、要求という側面から問題を分割し、要求にマッピングされたエージェント間の協調により解決する手法について検討した。実験の結果、地域性のないネットワーク上で規模が大きくなるとタスク分割することの有効性があることを示した。

今後、具体的な資源/要求のパラメータを用いて検証を行うと共に、ネゴシエーションのより少なくなるような初期割当の戦略、及びネゴシエーション時の収束性などについて、評価/検討していく予定である。

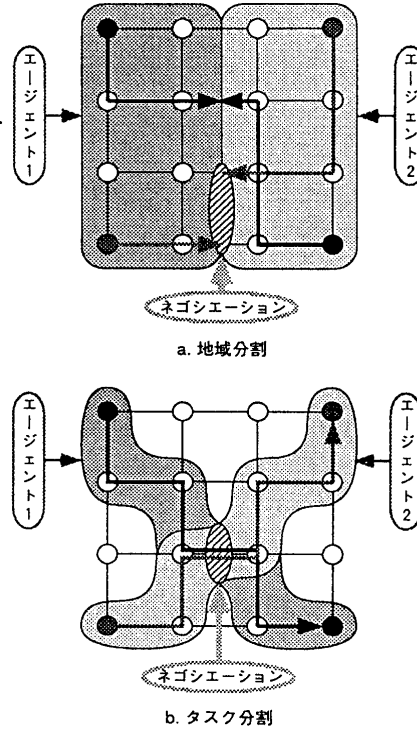


図1: ネットワーク構造と分割方法

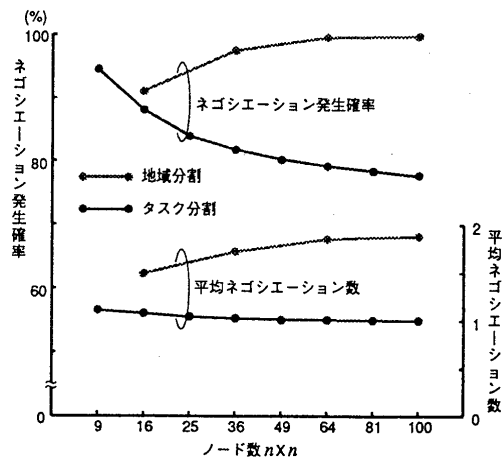


図2: ネゴシエーションの発生状況

参考文献

- [1] Karmarker, N. : A New Polynomial-Time Algorithm for Linear Programming, *Combinatorica*, No.4, 1984.
- [2] Conry, S. E., *et al.* : Multistage Negotiation in Distributed Planning, COINS Tech. Report 86-67, Univ. of Massachusetts, 1986.