

資源割当問題向き協調問題解決手法

6 D-6

和氣 弘明 村山 隆彦 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は、一般に NP 完全問題となるため、規模の大きな問題に対しては実用的な時間で最適解を求めることは困難である。そこで、必ずしも最適解が得られなくても、実用上問題のない近似解を妥当な時間で求めることができる発見的手法 [1] が提案されている。しかし、より問題の規模が大きくなり、さらに要求が動的に変化するような状況では、発見的手法と言えども近似解の導出は困難になる。

このような場合、問題を分割して複数のエージェントに分配し、エージェント間の協調により近似解を求める協調問題解決手法が提案されている。特に、地域性を前提として問題を分割する地域分散手法 [2] 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、我々は地域性のない場合を想定して、要求(タスク)という側面から問題を分割し、分配された要求を受け持つエージェント間の協調により、動的に変化する要求にも対応できるような協調問題解決手法(タスク分散手法) [3] を検討している。本稿では、タスク分散手法を提案するとともに、処理時間と解の質について発見的手法と比較/評価を行う。

2 資源割当問題

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。ネットワークはノードと容量を持つリンクからなる無向グラフであり、リンクの使用にはコストがかかるものとする。

このネットワークにおいて、全要求に対してリンクの使用コストが最小となる経路を設定する問題をコスト最小化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。

コスト最小化ネットワーク資源割当問題

- $n(i)$ :  $i$  番目のノード,  $i = 1, 2, \dots, M$
  - $l(i, j)$ :  $n(i), n(j)$  間のリンク,  $l(i, j) = l(j, i), i \neq j$
  - $lc(i, j)$ :  $l(i, j)$  のリンク容量,  $lc(i, j)$  は正整数
  - $uc(i, j)$ :  $l(i, j)$  における単位使用量当りのリンク使用コスト
  - $r(k)$ :  $k$  番目の要求,  $k = 1, 2, \dots, K$
  - $sn(k), en(k)$ :  $r(k)$  の始点ノードおよび終点ノード
  - $rc(k)$ :  $r(k)$  の資源要求量,  $rc(k)$  は正整数
  - $x(i, j, k)$ :  $r(k)$  における  $l(i, j)$  への  $n(i)$  から  $n(j)$  方向への割当状況
- $$x(i, j, k) = \begin{cases} 0 & \text{割当なし} \\ 1 & \text{割当あり} \end{cases}$$

(1) 容量制約:  $\forall i, j$  に対して,

$$\sum_k rc(k)(x(i, j, k) + x(j, i, k)) \leq lc(i, j)$$

(2) 流量保存制約:  $\forall i, k$  に対して,

$$\sum_j x(i, j, k) - \sum_j x(j, i, k) = \begin{cases} 1 & : i = sn(k) \\ -1 & : i = en(k) \\ 0 & : i \neq sn(k), en(k) \end{cases}$$

上記(1),(2)の制約を満たし,  $z$  を最小化する  $x(i, j, k)$  を求めよ.

$$\min z = \sum_{i,j,k} uc(i, j)rc(k)x(i, j, k)$$

本稿では、例題としてネットワーク再編成の一つである太い(容量の大きい)リンクへの集約化を取り上げ、単位使用量当りのリンク使用コストを太いリンク程低くなるように設定し、モデル化を行った。

$$uc(i, j) = \frac{1}{lc(i, j)}, \text{ ただし } lc(i, j) \neq 0$$

3 協調問題解決手法

3.1 手法の概要

本手法は、与えられた複数の要求をエージェントに分配し、各エージェントによる非同期並列な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る。処理は以下の3フェーズからなる。

1. 各エージェントへの要求分配
2. 各エージェントによる問題解決
3. 複数エージェント間のネゴシエーション(交渉)

以下、各フェーズにおける処理を示す。

3.2 各エージェントへの要求分配

与えられた複数の要求を各エージェントに分配する。本手法では、適正な並列度と負荷分散を考慮して要求を以下のよりに分配する。

1. 要求数に応じてエージェント数を増加
2. 各エージェントに要求を均等分配

3.3 各エージェントによる問題解決

エージェントの目的は、分配された要求について、コストが小さく、かつリンクの容量制約を満たすような割当を行うことである。エージェントはそれぞれネットワーク構成に関する情報を持っており、これを用いて独自に資源割当を行う。独自に資源割当を行うことにより、他エージェントとの間で資源の競合(リンク容量を超える割当)が起こり得るが、この場合はネゴシエーション(後述)により解決を行う。資源競合のチェック用には、全エージェントの割当状況に関する情報を用意している。

エージェント内部では、以下の4つの処理を繰り返す。

1. 経路探索: 未割当の要求の一つを選択し、他エージェントの割当は考慮せずに、独自にコスト最小経路を探索する。
2. 資源競合チェック: 1 で求めた経路について、資源競合のチェックを行う。競合を発見した場合は、ネゴシエーションにより解消する。

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

3. メッセージチェック: 他エージェントからのネゴシエーション要請の有無を調べる。要請がある場合は、ネゴシエーション状態に入る。
4. 終了判定: 分配された要求のうち、未割当の要求がある場合は1へ、ない場合はメッセージ待ち状態に入る。

全てのエージェントがメッセージ待ち状態となった時点で割当が終了する。

本手法は、このように各エージェントが資源競合を解消しながら非同期並列に経路設定を行っており、要求などの動的な変化にも対応可能なメカニズムとなっている。例えば、リンク障害等により経路変更が必要な場合、影響のある要求のみ現行の割当を解放し、未割当の要求として再割当を行えばよい。

### 3.4 複数エージェント間のネゴシエーション

資源競合が発生した場合、ネゴシエーションにより解消を行う。ネゴシエーションでは、競合を起しているエージェント間で情報交換を行い、競合の解消に必要な迂回経路を決定する。本手法では、処理時間の低減および解の質向上を目指して、それぞれネゴシエーション数を低減する戦略および迂回時の質低下を低減する戦略を検討した。

1. ネゴシエーション数の低減: 資源競合の発生し易い細いリンクを使用している経路を優先的に迂回させる。
2. 迂回時の質低下の低減: 迂回経路の経由リンク数が増加し難い、始終点間の距離が長い経路を優先的に迂回させる。

1,2の戦略で迂回させる経路は、いずれも経路上で用いるリンクの使用コストの合計が大きくなるため、リンク使用コストの合計が大きい経路を優先的に迂回させる戦略を用いる。

## 4 実験と評価

### 4.1 実験

C言語を用いて本手法(タスク分散手法)および発見的手法のプログラムを作成し、SPARC2上でシミュレーション実験を行った。発見的手法には、始終点間の距離が短い要求から順にコスト最小の経路を探索する近似解法(欲張り法)を用いた。

実験では地域性のないネットワークとして5種類のリンク容量(10,15,20,25,30)が一様分布する $N \times N$ の格子状ネットワークを想定し、要求は始終点ノードをランダムに選択、要求資源量を全て5として生成した。また、要求の量を示す指標として、要求資源量の割合を以下のように定義した。

$$\text{要求資源量の割合} = \frac{\sum \text{要求 始終点間の最小経由リンク数} \times \text{要求資源量}}{\text{ネットワークの総リンク容量}}$$

### 4.2 評価

ネットワーク規模に対する処理時間(CPU時間)を図1に示す。タスク分散手法は、ノード数が増えると負荷分散の効果が現れ、発見的手法に比べて処理時間の低減が図れた。しかし、タスク分散手法の処理時間の内訳を調べた結果、メッセージ待ちの時間が非常に多く、全体の処理時間としては著しい低減を図ることが出来なかった。この原因としては、各エージェントへの要求の分配をランダムに行っているために、始終点の位置が近いなど互いに影響の強い要求が異なるエージェントに分配されており、ネゴシエーションの結果が別の資源競合を引き起こし易い(収束し難い)状況になっていると思われる。

要求資源量の割合に対する解の質を図2に示す。解の質は、最適解(最小コスト値)を1とした場合の比で表した。タスク

分散手法の解の質は、発見的手法と同程度であり、最適解に近い近似解を得ることができた。

以上、ネットワークの規模が大きな領域では、タスク分散手法を用いることにより解の質をあまり落さずに処理時間の低減が期待できる可能性を示すとともに、処理時間に関する問題点を明らかにした。

## 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化がある場合にも有効な手法として、要求という側面から問題を分割し、分配された要求を受け持つエージェント間の協調により解決するタスク分散手法を提案し、発見的手法と比較/評価を行った。その結果、地域性のない大規模ネットワーク上で、解の質をあまり落さずに処理時間の低減が期待できるタスク分散手法の有効性と処理時間に関する問題点を示した。

今後は、メッセージ待ち時間低減のための要求分配法の検討、要求などが動的に変化する場合の評価を行う予定である。

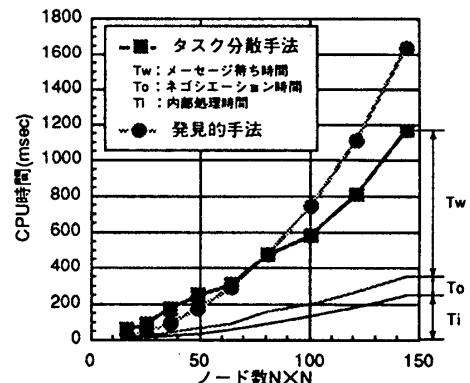


図1: ネットワークの規模と処理時間 (エージェント数N, 要求資源量の割合0.3)

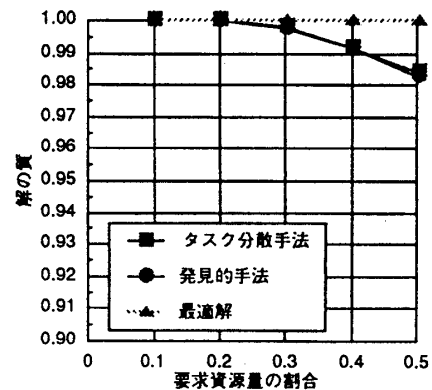


図2: 要求資源量の割合と解の質 (ノード数4x4, エージェント数4)

## 参考文献

- [1] 翁長他: ネットワークにおける多種結線実現問題とその近似算法, 信学論(A), pp.431-438, 1982.
- [2] 湊他: 分散協調マルチエージェントモデルによる通信網の複数回線設定制御, 信学論(B-I), pp.909-918, 1991.
- [3] 村山他: 資源割当問題向き協調問題解決手法の検討, 情報45 全大, 1992.