

グラフ最短路問題における自律型エージェントモデルの研究 (3)
— 鉄道網の最適経路探索システムの構築 —

和田 正好 岡本 敏雄

電気通信大学大学院 情報システム学研究所

あらまし:

グラフ最短路問題では、グラフやコスト計算が複雑化すると、それに伴い探索コストが大きくなる。これを、分散的なエージェントが協調して探索を行なうことにより解決を試みる。しかし、分散グラフ探索においては、その範囲が広がるにつれ、エージェント間の通信量が大きくなる。これに対し、本研究では、役割別に階層化された自律型エージェントモデルによるシステムを構築することで、効率的な問題解決を行なうことができた。本稿では、探索におけるエージェント間の競合解消のプロセスについて述べる。なお、本研究では、具体的なドメインとして鉄道網の最適経路探索を取り上げる。

A Study on Autonomous Agent Model
in the Shortest Path Problem of the Graph(3)
— Construction of the Most Suitable Route Search System
for a Railroad Network —

Masayoshi Wada Toshio Okamoto

Graduate School of Information Systems,
The University of Electro-Communications

Abstract:

In the shortest path problem of the graph, the more the target graph becomes a complicated structure or the cost-calculation has many factors to be considered, the more it takes much time to search the shortest path. In this study, the distributed autonomous agents solve given problems through cooperating each other in searching process. In distributed graph search, it brings much communication cost for negotiation among agents. So, we investigate the organizational structure of the stratified agents as to their searching spaces and methods. This paper describes negotiation among distributed autonomous agents which searches the most suitable route on a railroad network.

1 はじめに

グラフは鉄道網のようなネットワーク状の対象を表現するのに適している。その中で、最適な経路を求める問題はグラフ理論の中の最短路問題に当てはめて考えることが可能である。

グラフ最短路問題とは、グラフの2頂点間を結ぶ経路のうちでエッジのコストの総和が最小のものを求める問題である。経験則などを利用せずに、問題を解く方法としては、次の2種類の問題いずれかに帰着させるのが一般的である [1]。

- (1) 出発点を一つに固定して、そこから他のすべての頂点への最短路を求める問題
- (2) すべての2頂点の組み合わせに対して、最短路を求める問題

本研究では、(1)のアプローチでの問題解決を扱うこととする。このアプローチでの代表的なアルゴリズムとして Dijkstra のアルゴリズム [2] などがあげられる。これらのアルゴリズムでは、グラフやコスト計算が複雑化するとそれに伴い探索時間が大きくなる。

計算時間を減少させる方法の一つとして、分散処理技術を用いた様々な手法が目立ってきている。特に、探索を含む人工知能の研究においては、単に人工知能技術を分散計算環境において利用するというだけではなく、複数のエージェントにより協調問題解決を図る研究が行なわれている。

その中で、代表的な課題として、エージェントが協力して組織を構成し、共通の目標を達成する研究 [3] や、交渉を行なうことでエージェント間の協調および競合解消をし、それぞれの目標を達成する研究 [4] がある。

これらの中で、特に探索に関しては、分散環境に拡張した分散探索問題に関する研究が主に行なわれている [5] が、その内容は制約充足問題や状態空間探索などにおいての部分問題解決やエージェント間の交渉などが中心であり [6, 8]、問題分割は領域知識に依存している場合が多い。

グラフ表現における分散的な経路探索問題の解法として波及型探索アルゴリズム [7] があるが、エージェントの総数や探索するグラフが広がるにつれてエージェント間の通信量が増えてしまう。本研究では、システム開発における環境において、計算コストより通信コストの方が大きい世界を対象とする。

このことをふまえると、探索における協調のためのエージェント間通信は重要度の低い情報交換を控えることで、探索全体における効率化を図ることができる。

そこで、本研究では、役割別に階層化されたエージェント群に、自律的に探索を行なわせることで効率的な問題解決を行なう。このことにより、分散データベースを探索モデルに採り入れることが容易になる。さらに、なるべく早い段階での探索空間の削減を行なうことで、無駄な探索を低減することを試みる [9]。

2 研究目的

本研究では、効率的な分散グラフ探索を実現するためのマルチエージェントモデルを提案する。その際、問題分割を単なる部分分割ではなく、それぞれのエージェントの役割に注目し、それに応じた形で各エージェントへの探索範囲の割り振りを行なう。このモデルに解の最適性の保証をする手続きを組み込むことで、グラフ最短路問題を解決する。以上の方法により、分散グラフ探索上でグラフ最短路問題を効率的に解決するシステムを構築することを目的とする。本稿では、各エージェントの役割と、それぞれのエージェント間における交渉プロセスについて述べる。

なお、本研究ではグラフ最短路問題の具体例として、鉄道網の最適経路探索を取り扱う。

3 分散グラフ探索

3.1 鉄道網の最適経路探索システム

本研究において構築するシステムは、首都圏の鉄道網の上で、任意の出発地、目的地間における最適な経路を探索し、ユーザに提示するシステムである。具体的には、ユーザの入力した条件 (例: 料金が最安、時間が最速、etc.) の下で、ユーザの入力した2駅間の最適経路を探索し、その結果を出力する。本研究では、この探索をグラフ最短路問題に当てはめて考えることとする。

鉄道網に関するシステムを構築する際に問題となる点として、各鉄道線や各鉄道会社ごとにデータベースやその計算方法が異なることがあげられる。このことから、コスト計算におけるデータベースに関する知識を予め全て持っている必要がある。ま

た、図1に示すように各区間別にコスト算出方法を変える必要性が生じる場合がある。

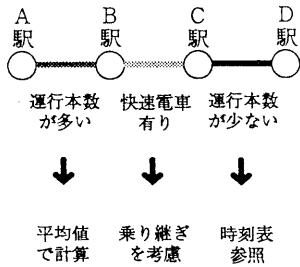


図1 時間コストの計算例

以上のことを考慮すると、このドメインでは分散されたエージェントにより問題解決を行なった方が手法として適していると考えられる。そこで、本研究ではこれに分散グラフ探索の手法を取り入れて問題解決を行なう。

3.2 分散グラフ探索

分散グラフ探索では、グラフに関する部分知識を持つ各エージェントがそれぞれ分割された担当範囲を受け持ち、それぞれが協調しながら全体としての問題解決を行なう。

分散グラフ探索問題においては、解を求める時は各エージェントが相互に協力をしなければ、全体の探索結果を求めることはできない。

ここで、分散グラフ探索を行なう上での問題点として、グラフが大きくなった場合にエージェント間の通信量が大きくなることがあげられる。本研究では、この問題をエージェントを問題領域ごとにだけでなく、役割別にも分けて考えることで解決を試みる。また、なるべく早い段階での探索空間の削減を行なうことで問題解決の効率化を図る。

本研究で扱うグラフ最短路問題においては、解の最適性の保証を行なう必要がある。しかし、単に探索を分散化し、それぞれを同期をとらずに自律的に行なわせると、解の最適性を保証するためには、スタートからのパスにおいて全数探索を行なわなければならない。これを回避するには、探索中におけるエージェント間での結果共有が必要となる。

そこで、本研究では、このモデル上での解の最適性の保証を行ない、かつ、よりエージェント間通信の少ない手続きを問題解決において組み込んだマルチエージェントモデルを提案する。

4 自律型エージェントモデル

分散型問題解決のように、通信におけるコストが問題解決時間に影響を及ぼす場合には、エージェント間の通信量を少なくした方がよい。

そこで、本研究では、エージェントをできる限り自律的に振舞わせること、エージェントを役割別に階層化し、通信についても専門のエージェント群に担当させることで、効率的な解決を試みる。図2にエージェント間の情報伝達モデルを示す。

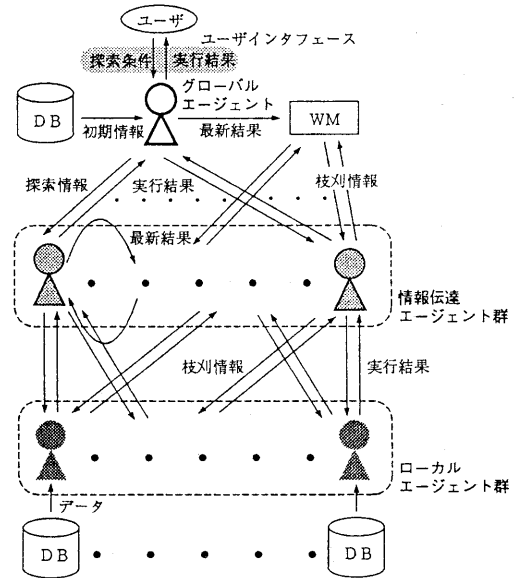


図2 エージェント間の情報伝達モデル

以下にエージェントの種類とその役割を示す。

4.1 グローバルエージェント

グローバルエージェントは、探索全体の整合性や、無駄な探索が行なわれていないかなどをチェックする。また、情報伝達エージェントから送られてくる途中結果に対し、場合に応じて、ブロードキャスティングや共有記憶領域への掲示、一部のエージェントのみに連絡を行なうなどの対応をする。

具体的な役割としては、

- 初期条件の提示
- 全体情報の管理
- 探索終了時のチェック

- 結果の集計

などがあげられる。

初期条件の提示においては、ユーザから与えられた探索条件によりエージェント群を形成し、探索初期条件を必要に応じて伝達する。

また、全体の情報管理においては探索空間の削減やエージェント間交渉における情報交換の仲介の役目も果たす。

探索終了時のチェックは、解の最適性が保証できた時点で行なう。解の最適性は、各エージェントの探索データの有効性を調べることで保証する。

解が求まった時には、それを基にユーザへ提示する付加情報の検索を各エージェントに行なわせる。さらに、その結果の集計についても行なう。

4.2 情報伝達エージェント

情報伝達エージェントは、複数のローカルエージェント間の情報伝達を担当し、必要に応じてグローバルエージェントとの情報交換を行なう。ローカルエージェントに対して、探索の依頼や結果の転送、枝刈り情報の提示などを行ない、探索範囲と情報通信量をなるべく抑えるようにする。また、必要に応じて自律的に他の情報伝達エージェントとの情報交換をすることにより、枝刈りや競合解消などを行なう。また、途中結果から探索範囲や探索手法、コストの重みなどを変更する必要があると判断した場合は、関連するエージェントと交渉を行ない、結果をグローバルエージェントに報告する。

具体的な役割としては、

- ローカルエージェントへの探索依頼
- 枝刈りによる探索空間の削減
- グローバルエージェントとの情報交換
- 関連するエージェントとの交渉

などがあげられる。

担当のローカルエージェントの探索範囲の知識についてはあらかじめ持っておき、これに基づき各エージェントへの探索の依頼を行なう。

逆に、ローカルエージェントから探索の結果が送られてきた場合には、まず送られてきたデータが有効であるかのチェックを行なう。さらにこの結果をローカルエージェント側に戻す。これは、今後の探索において無駄を無くすと同時に、最適性の保証を

する際のデータ受渡しにおける同期をとるために行なう。

グローバルエージェントとの情報交換は、1対N間通信になるので、通信量が多くなる可能性が高い。そこで、共有性が高いデータに対しては、ワーキングメモリを通して行なう。この場合、他のエージェントとの同期を取る手続きを組み込まなければならない。そこで、通信プロトコルとして黒板モデル的な手法を用いることで同期を取ることとする。

4.3 ローカルエージェント

ローカルエージェントは、専門として受け持っているローカルな範囲の探索を担当し、データベースも担当の範囲のみ検索し利用する。情報通信は、基本的に一部の固定された情報伝達エージェントと情報交換を行ない、他のエージェントとの通信は行なわない。情報伝達エージェントからの情報に基づき、探索の実行や枝刈りを行ない、その結果を情報伝達エージェントへ返す。

具体的な役割としては、

- 特定の情報伝達エージェントとの情報交換
- 担当する部分グラフにおける探索の実行
- 枝刈りによる探索空間の削減

などがあげられる。

情報伝達エージェントと同様、探索依頼などによりデータが送られてきた場合は、まず送られてきたデータが有効であるかのチェックを行なう。さらに、この結果を送り元のエージェント側に戻す。また、探索結果に関してはその探索の依頼元に限らず、必要と判断した情報伝達エージェントへ返す。

なお、ローカルエージェント群における担当する探索範囲は相互に重複は許さないように割り当てる。このことにより、探索の枝刈りにおける無駄を省くことと、探索の依頼に関してエージェントを一意に指定することができる。

ローカルエージェントの情報伝達先を固定することにより、情報の送り先がどこであるかをローカルエージェント自身が調べる必要がなくなる。これは、ローカルエージェント自体の単純化と、探索するグラフの変化によるエージェントの追加・削除等の更新手続きを簡略化するためである。

5 エージェント間の競合解消

探索におけるコスト計算やデータベース処理は、基本的にはそれぞれ担当する範囲ごとにローカルエージェントが行なう。しかし、探索を行なっていく上で、複数の担当領域に跨った範囲におけるコスト計算などを行なわなければならない場合には、各領域を担当するローカルエージェント間での情報交換をする必要が出てくる。また、複数領域に跨った範囲において、どちらのデータを採用すべきかを単独のローカルエージェントでは判断できない場合には、他のエージェントが仲介役となって判断する必要がある。

5.1 ローカルエージェントの情報伝達

ローカルエージェントは、情報交換における伝達先は担当の情報伝達エージェントに固定されているので、協調等が必要な場面では直接情報交換は行わずに情報伝達エージェントがこれを代行する。このことから、ローカルエージェントは通信の相手先を固定しながら、他の全てのエージェントとの情報伝達が保証される。これを図3に示す。

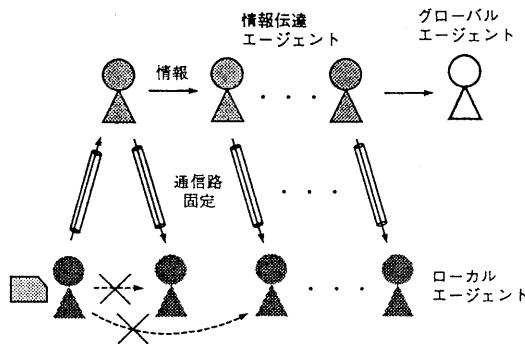


図3 ローカルエージェントからの情報伝達

ここで、探索における情報交換では、探索領域が隣合うエージェント間での情報交換が主になる場合が多い。したがって、情報伝達量が多いエージェント間の通信路を固定することで、通信手続きを簡略化することができる。

5.2 エージェント間の競合

分散探索における探索情報の競合が起こりうる場面としては、

- (1) 探索途中のデータが複数伝達されてきた時にどちらのデータを基にコスト計算すべきか判断できない場合
- (2) 自分の担当範囲のデータだけでは、全体としての最適解に貢献する部分解を求めることができない場合

の2つを考えることができる(図4)。

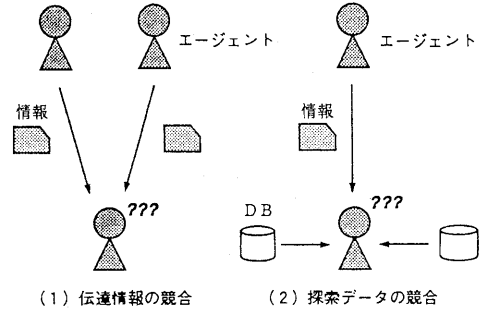


図4 エージェントにおけるデータの競合

前者は、エージェントが現時点で持っている情報のみでは、送られてきたデータの優劣を判断できない場合である。特にローカルエージェントの場合は、競合解消における手続きは行なえないので、担当する情報伝達エージェントが、ローカルエージェントからの情報から競合状態であることを把握し、競合解消プロセス自体を代行する。

後者の場合は、現時点での情報では部分解を求めることが不可能のため、エージェントは競合解消をすることができない。特にローカルエージェントは、それぞれの担当範囲の探索しか行なわないので、複数の範囲を跨る探索や、そのためのコスト計算等を単独で行なうことができない。そこで、情報伝達エージェントが情報収集を代行する。

5.3 エージェント間の交渉

分散探索は分散問題解決の中に含まれることから、エージェント間交渉において、それぞれのエージェントの目的は同一であることは前提となる。このことから、全てのエージェントにおいて、部分解を求める際の判断基準は基本的に同じであるといえる。また、グラフ探索では、適当なコストを探索における判断基準として用いている。このことから、コストをエージェントの交渉における基準としても用いることが可能である。

ここでは、エージェント間の競合解消における交渉を図5に示すように2つの場面に分けて考える。

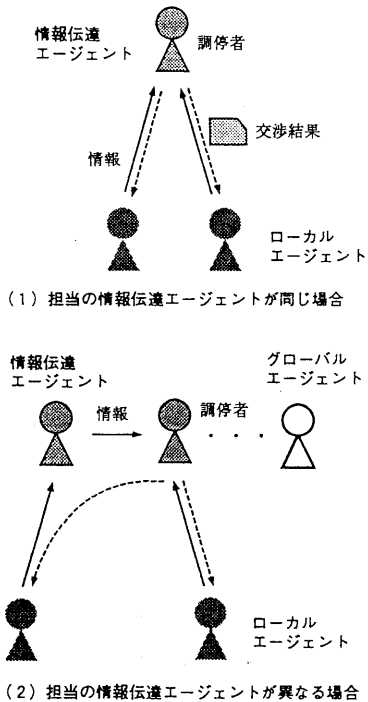


図5 エージェント間の交渉

競合状態にあるそれぞれのエージェントを担当する情報伝達エージェントが同じ場合は、そのエージェントが調停役となる。伝達された情報を基に、コスト等の比較を行なうなど自律的に判断をして、その結果をそれぞれローカルエージェントへ渡す。

担当する情報伝達エージェントが異なる場合のエージェント間の交渉は、原則として競合情報を受け取った側のエージェントが交渉における調停者の役割を行なう。競合状態と判断した情報伝達エージェントが、メッセージを転送する際に交渉内容、交渉条件とともに、送り手側に有利な交渉結果からのデータを付加して送る。受け手側はこの情報から判断して、交渉において条件を相手に譲る場合は、送られたデータを基に探索を進め、交渉の必要がなくなったと判断できる場合はメッセージを破棄する。交渉が真に必要なと思われる場合のみ送り手側に交渉条件を含むメッセージを送り返す。このことで、交渉によるエージェント間の通信量を抑えることができる。このことは、全てのエージェントが共通の目標を持っているため、相手のエージェントを信頼することができることから成立する。

また、交渉情報を受け取った側も判断を下せない場合は、さらに、次の探索範囲の情報伝達エージェントに、自分の交渉条件と調停の役割を渡す。そして、これを受け取ったエージェントは、交渉条件を基に同様のプロセスで判断を行なう。以上の手続きから、どの情報伝達エージェントも交渉内容について判断できないというような最悪の場合でも、グローバルエージェントがゴールを管理しているため、交渉により競合解消されることが保証される。このことは、グローバルエージェントが探索空間全体を把握可能なことによる。以上のプロセスから、個々の情報伝達エージェントは、全体の状況を考えず、競合時点に持っている情報だけを基に自律的な判断で行動できる。

6 おわりに

本稿では各エージェントの役割づけ、エージェント間の情報伝達モデルと、エージェント間の交渉プロセスについて述べた。本手法により、分散計算機環境や分散データベース環境において、効率的にグラフ最短経路問題の解決ができると思われる。

今後の課題としては、情報伝達における手続きの簡略化に伴うメッセージ量の増加を抑える手法について検討していく。

参考文献

- [1] 石畑清：アルゴリズムとデータ構造，岩波書店(1989)
- [2] E.W.Dijkstra and W.H.J.Feijen (玉井浩 訳)：プログラミングの方法，サイエンス社(1991)
- [3] 石田亨，桑原和宏：分散人工知能(1) 協調問題解決，人工知能学会誌，Vol.7, No.6, pp.13-22(1992)
- [4] 桑原和宏，石田亨：分散人工知能(2) 交渉と均衡化，人工知能学会誌，Vol.8, No.1, pp.17-25(1993)
- [5] 横尾真：分散探索とその周辺，コンピュータソフトウェア，Vol.12, No.1, pp.33-42(1995)
- [6] 北村泰彦，小川均：分散探索に基づく分散問題解決モデル，計測と制御，Vol.33, No.1, pp.21-26(1994)
- [7] 北村泰彦，辰巳昭治，奥本隆昭：状態空間表現による分散型問題解決の定式化，電子情報通信学会人工知能と知識処理研究会，AI92-48(1992)
- [8] 鈴木英之進，堀浩一，大須賀節雄，Pierre Morizet-Mahoudeaux：自律型知識処理システムのネゴシエーションによる問題解決，人工知能学会誌，Vol.9, No.1, pp.109-118(1994)
- [9] 和田正好，岡本敏雄：グラフ最短経路問題における自律型エージェントモデルの研究(2) -鉄道網の最適経路探索システムの構築-，電子情報通信学会人工知能と知識処理研究会，AI95-35(1995)