

学 位 論 文 題 名

A Study on Motivation Agents Approach to
Dynamical Combinatorial Problems

(動的組合せ問題への動機エージェントアプローチに関する研究)

学位論文内容の要旨

本論文は、要素の組合せ集合から解を見つけ、その解を定義する目標関数が時間とともに変化する問題である動的組合せ問題を対象に、組合せ要素のそれぞれが独自の目標を持つことによって競合が発生する状況に対し、各要素を自律エージェントとみなして動機を持たせることにより、この動機に基づいて競合を回避しながら良解を適応的かつ効率的に獲得させるための、分散的な問題解決方法に関する研究成果をまとめたものである。

動的組合せ問題は、伝統的な組合せ問題と比較すると、目標関数が時間変化を伴うために広い探索空間を有することになり、解の発見は探索時間や計算資源の面から非常に難しくなる。これに対し、本論文では分散問題解決手法の持つ適応性や柔軟性を利用して、マルチエージェントシステムとして取扱うことによる問題解決の有効な手段を提案している。

このような問題は特に産業分野に広く見られ、多くの場合、組合せの要素それぞれが内部属性(状態)を持つ独立した対象としてみなされる。本論文の具体的な問題例である倉庫問題では、対象はパレットに相当し、対象の内部属性は倉庫内の位置で、解は各パレットの移動列、あるいは状態遷移列と考えられる。この状況で、対象を知性をもつ自律エージェントとみなすことにより、倉庫問題はマルチエージェントアプローチによって取扱うことが可能となる。しかし、各対象が異なる目標状態を持つタスクでは、良解を得るために自身の目標達成とともに他の対象の目標達成に対する協力が必要であり、相反する2つの目標を調整する目的から動機が重要となる。また、エージェントアプローチでは、所有する自律適応性により、各要素を1つの自律対象に割り当てることによって、目標状態の少数の要素だけが変化した場合でも、それに対応する対象のみがそれぞれ局所並列的に状態を再探索することで、探索時間と計算資源を短縮できることを示している。

本論文では、エージェントによる動的組合せ問題を、競合回避行動と目標達成行動に分解するアプローチを提案し、目標達成行動は設計が難しいため学習による獲得に任せ、競合回避行動については目標関数に応じて適切な行動を導くように設計する方法論を展開している。そのために、新しく各エージェントに動機値と呼ぶ行動性のある測度を与え、これを用いた調停方法を導入している。この方法で、デッドロックが起きる状態とは何かを明らかにし、自分の目標を達成するために何の制約もなく常に動機値を増やし続けるエージェントは、いずれデッドロック状態に近づいていくことを示している。一方、動機値を高次元の面上に拘束すると、デッドロック状態は点で表現されるため、その点を回避するように自由にエージェントの優先づけを行うことができることを示している。また、目標達成のための探索行動が各エージェントによって分散的に行われるときは、動的環境に対

応するためにエージェントに即応性が要求されるが、設計時に挙動のレパートリーを正しく指定し、マルチエージェントシステムの活動を具体化することは非常に困難である。そこで、このような問題に対処できる唯一の方法は、エージェントに適切な行動と相互作用パターンを学習する能力を与えることであり、問題解決のために適応的なアプローチの必要性を明らかにしている。具体的には、行動を決定する挙動関数を人工ニューラルネットワークで構成し、それを学習によって問題向きに進化する方法を述べている。

本論文は、自律エージェントの集合によって動的組合せ問題を取扱う方法を与え、この目的のためにエージェントの設計理論を提案し、産業問題の分野で実際の応用を示している。問題条件の異なる種々の実験を通じて、問題の解が適応的に獲得されることを示すとともに、その結果が行動獲得の一種のテンプレートとしての位置付けを明らかにしている。

上記の結果から、本論文で提案する諸手法が、マルチエージェントによる動的組合せ問題の解法として有効であると結論づけている。

本論文は6章から構成されている。

第1章は序論であり、本論文が取り扱う課題を提示し、その意義について述べている。まず、動的組合せ問題にマルチエージェントアプローチが有効であることを示し、倉庫問題を動的組合せ問題の見地から取り扱うことが何故重要であるかを述べている。次に、本論文の目的である動機値によるエージェント間の競合解消と進化学習による目標達成に対して、エージェントの異なる振る舞いを適切に設計することの必要性を議論している。

第2章では、本論文の主題である動的組合せ問題へのエージェントアプローチに関連して、さまざまな研究例を述べている。まず、動的組合せ問題を定義し、空間制約を伴う倉庫問題が対象問題として調査されている。次に、倉庫内のパレットの密集度が高い場合の解法モデルとして、Nパズルへのアプローチを参照している。さらに、マルチエージェント環境におけるエージェント間に動的関係をもたらす相互作用と調整を説明し、動的環境に対処するための進化計算に基づく適応的な分散アプローチを概説している。

第3章では、セル型倉庫問題を対象として、マルチエージェントによる具体的なアプローチ方法を説明している。まず、対象問題をモデル化し、分散方式による局所的な相互作用中に発生する再活性化とデッドロックの問題を指摘している。それらの問題を解決し、各エージェントが自分の目標状態を達成するために、エージェントの行動を2つに分解している。すべてのエージェントはホモジニアスであり、ニューラルネットワークによって与えられる内臓型の挙動関数と最小通信機能を含めて、これら2つの行動設計を行っている。さらに、動機値によるエージェント間の行動調整、移動要求の伝播、挙動関数の進化学習についての具体的な方法を示している。

第4章では、第3章で提案した方法論に基づいて、種々の数値実験の結果を示している。まず、小規模問題の訓練集合を用いて、実際のタスクを実行する前にエージェントに基本的な行動を学習させている。次に、異なる条件下でのタスク実行を通じて、挙動関数の学習結果に対する評価基準の影響を調査し、評価項目との因果関係を示している。いくつかのエージェントのみが目標状態を達成すべき状況を含んで、移動要求の伝播による効果が非常に大きいことが示される。計算機実験を通じて、提案する方法が条件の異なる問題設定に対しても効果的に機能することを明らかにしている。

第5章では、関連問題への応用として、空間制約や動作条件を変えることによって積木問題と配送問題を設定し、上記のエージェントアプローチを一部変更するだけでこれらの問題にも適用できることを示している。

第6章において、論文全体のまとめと総括を行っている。

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	嘉 数 侑 昇
副 査	教 授	大 内 東
副 査	教 授	大 森 隆 司
副 査	教 授	和 田 充 雄

学 位 論 文 題 名

A Study on Motivation Agents Approach to Dynamical Combinatorial Problems

(動的組合せ問題への動機エージェントアプローチに関する研究)

一般に組合せ問題は NP コンプリート問題として知られる。その中で本論文は、動的組合せ問題として定義される問題、すなわちその解を定義する目標関数が時間とともに変化する組合せ問題を対象に新たに提案した自律分散的手法による解法問題に関する研究成果をまとめたものである。一方、提案した手法は問題を構成する組合せ要素を自律エージェントとみなすマルチエージェントアプローチのクラスに属することも指摘したい。ところで、自律分散的問題解決法やマルチエージェントアプローチでは、自律分散要素間、エージェント間の競合問題を解決しながらいかに全体の調和を実現するのかという未だ一般的解法が知られていない基本課題を内包する。本研究ではエージェントの決定機構に動機と名付けられた自環境評価及び自己評価指標を導入した動機エージェントを提案しこれらの課題の自律的解決を目指す。本論文では、動的組合せ問題の具体例として自動倉庫問題を取り上げ、本問題の内包する課題をここで提案する動機エージェントを AGV としたアプローチにより解決可能であることを理論及びこれに基づく計算機実験で明らかにしている。自動倉庫問題では、各動機エージェントが異なる目標状態を持つ場合が多い。このようなタスクでは、良解を得るために自身の目標達成とともに他の動機エージェントの目標達成に対する協力が必要となりいわゆる協調作業実現のために環境情報としての動機集合を利用している。ところで、動機エージェントの目標達成行動獲得は自動的に最適解を得ることは不可能でありこの目的のために機械学習が導入される。また競合回避行動については目標関数に応じて適切な行動を導くようなアルゴリズムを提示している。一般に目標達成のための探索行動が各エージェントによって分散的に行われるときは、動的環境に対応するためにエージェントに即応性が要求されるが、このような問題に対処するため、エージェントに適切な行動と相互作用パターンを学習する能力を与える適応的な手法を提示している。問題条件の異なる種々の実験を通じて、問題の解が適応的に獲得されることを示すと

ともに、その結果が行動獲得の一種のテンプレートとしての位置付けを明らかにしている。本論文の概要は以下の通りである。

第1章は序論である。

第2章では、本論文の主題である動的組合せ問題へのエージェントアプローチに関連するランドスケープが記述され本研究の位置付けが示されている。また、マルチエージェント環境におけるエージェント間に動的関係をもたらす相互作用と調整を説明し、動的環境に対処するための進化計算に基づく適応的な分散アプローチを概説している。

第3章では、セル型倉庫問題を具体例として、マルチエージェントによるアプローチ方法を説明している。対象問題をモデル化し、分散方式による局所的な相互作用中に発生する再活性化とデッドロックの問題を指摘している。それらの問題を解決するために新しく動機概念が導入され、これに基づく動機エージェントモデリングが示されている。ここで各動機エージェントはホモジニアスであり、ニューラルネットワークによって与えられる内臓型の挙動関数と最小通信機能を含めて、動機エージェント間の行動調整、移動要求の伝播、挙動関数の進化学習についての具体的な方法を示している。

第4章では、第3章で提案した方法論に基づいて、種々の数値実験の結果を示している。まず、小規模問題の訓練集合を用いて、実際のタスクを実行する前に動機エージェントに基本的な行動を学習させている。次に、異なる条件下でのタスク実行を通じて、挙動関数の学習結果に対する評価基準の影響を調査し、評価項目との因果関係を示している。いくつかの動機エージェントのみが目標状態を達成すべき状況を含んで、移動要求の伝播による効果が非常に大きいことが示される。計算機実験を通じて、提案する方法が条件の異なる問題設定に対しても効果的に機能することを明らかにしている。

第5章では、関連問題への応用として、空間制約や動作条件を変えることによって積木問題と配送問題を設定し、上記の動機エージェントアプローチを一部変更するだけでこれらの問題にも適用できることを示している。

第6章は総括である。

これを要するに、著者は自己評価及び環境評価のために新しく動機という指標を内蔵した動機エージェントに関する理論展開及び種々の数値実験を通してマルチエージェントシステムとしての動機エージェントアプローチが動的組合せ問題解決法として妥当でありかつ有効であることを示し、これにより知能機械工学に関する研究分野において多くの新知見を得たものであり、生産工学、情報工学、および複雑系工学分野の進歩に寄与するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格があるものと認める。