

## An Approach to the Exploiting Problems by the VPM

(振動ポテンシャル法による探索問題へのアプローチ)

## 学位論文内容の要旨

本論文は、動的環境下を考慮した柔軟な探索手法構築を目的としたものである。具体的には生命現象における適応能力のメカニズムを動的環境下のマルチエージェント群に組み込み、解探索の担い手とすることにより、自律分散的に対象問題を解決するような探索手法を提案している。このとき探索に必要なエージェント群の情報獲得の場として、解空間特性を内包する連続空間構成として振動ポテンシャル場を導入した情報場を新たに定義することで、解空間の大域的及び局所的な情報を統合的に利用した探索を可能としている。

ところで探索問題を含む工学諸問題では、制約条件を満たす評価値最大であるような状態値を見つける問題がその中心を占めている。特に多くの問題は、その解空間を離散的とみなした組み合わせ問題として扱われるが、一般的に組み合わせ爆発が発生するゆえ、効率的な解探索が望まれている。従来、代表的な解探索手法として、(1) エキスパートシステム、(2) ニューラルネットワーク、(3) ジェネティックアルゴリズムなどが提案されてきた。

一般的な解探索における基本的アプローチは、探索点毎に独立に定まる評価関数を直接の目的関数として最小化もしくは最大化を行うものである。よって、探索情報の獲得を行う場として、解空間特性および探索過程の状況を反映しない目的関数を用いるがゆえに局所解発生が不可避となる。そこで解空間の概略的性質である大局的情報と、探索点毎の詳細な性質である局所的情報を利用した局所解の回避および探索の効率化が期待される。すなわち如何にして大局的情報及び局所的情報を獲得するか、また如何にしてこの相反する情報を利用していかがこの分野の重要な課題となっている。上述した代表的な解探索手法においてもこの点が重要視されているが、どちらかの情報獲得・利用に重きを置き、探索状況を反映した柔軟性に欠けたものとなっている。特に動的環境を考慮に入れた場合、これらのアプローチでは不十分であることが指摘されている。

以上の問題意識の下、本論文では対象問題空間に対して大域的および局所的に観測可能な情報の場を導入することにより、大域的情報と局所的情報の選択的獲得に基づく問題解法を提案している。本手法の基本的枠組みとして、波動関数の重ね合わせで表現された連続的な波動エネルギー空間を環境とし、この中で境界情報、内部状態量およびエネルギー変換関数を有するエージェント群を構成する。エネルギー変換関数に、生命現象における恒常性機能として知られる力学系、すなわち境界エネルギーの観察とその自己の構成エネルギーと運動エネルギーへの変換を導入することにより、エージェント群の活動として動的環境に適応した自律分散的動作を発現する系が実現される。本手法はこの基本的枠組みに見られる環境情報の利用と自律的活動を、探索に必要な情報獲得と利用におけるメカニズムとすることにより柔軟な探索手法を構築することを目的としている。具体的には、複数のエージェントの連続的なエネルギー状態の和と波動情報の重ね合わせとして構成される情報場を、探索活動における解空間と再定義する。この再定義から情報場上に観察されるエントロピー変化量が解探索に必要な大局的および局所的情報を含んだ目的関数として利用可能であることを明らか

にしている。よって、これをエージェントの力学系へと導入することにより、状況に応じた探索活動の方向づけが成されることとなる。これは解空間が探索中に変化するような動的な問題では特に効果を発揮することが期待されるゆえ、動的問題解決への探索試行の連続化による漸近的なアプローチと見なすことができる。このようにして構築された解決システムは、マルチエージェント群の自律分散的挙動特性を導入した半自動的問題解決を実現することになる。

以上、本論文では、情報場を波動関数の重ね合わせで構成し、これらを形式的に記述することにより、対象問題の各クラスでその性質に対する本手法の特徴を計算機実験を通じて論じている。

本論文は以下の6章から構成されている。

第1章では、問題の背景および本論の概要を述べている。

第2章では、探索問題の性質を検討することにより、対象とする問題空間表現に対する情報場の概念を提案し、振動ポテンシャル法を導入することで本論文の基本的アプローチとしている。さらに生命現象の枠組みから振動ポテンシャル法を再構築している。すなわち、エネルギーを有する環境に対し境界を張ることで構成要素を特定し、つぎに要素境界におけるエネルギー流入量および流出量を定義することにより要素内の熱量を算出し、生体調節機能に基づいて目的関数を設定している。以上の要素をエージェントユニットとして定義し、ユニット群により情報場を構成することにより、柔軟性を持つ一般的問題解決の枠組みを示している。

以下の章では問題向き境界情報と目的関数の設定法を議論し、計算機実験による有効性を述べている。

第3章では、波動場における離散化記憶項目の想起と題し、提案する場の相互作用に基づく探索能力を分散知識表現システムにおける想起メカニズムとして適用している。すなわち、分散表現をなす各属性空間に1次元ポテンシャル場を対応づけた多重波動場としての表現形式と、各記憶項目に対応づけたユニット群とを構成することにより、想起メカニズムがユニット同士の相互作用的探索過程によって実現できることを述べている。また種々の実験を通じてこの想起能力の特性を明らかにしている。

第4章では、ロボットの動作計画を対象問題分野としている。本章では、2次元マップ上を動く有形状物体を前提とし、経路探索問題、ピアノ搬送問題、箱詰め問題に対するアプローチを行っている。本適用方法の下、計算機実験により異なる配置空間上でのロボットの適応動作および複数のロボット群の相互回避移動を実現し、従来解決困難であったこれら諸問題が、大局的および局所的情報の柔軟な探索的利用によって適応的解決が成されることを示されている。

第5章では、組み合わせ最適化問題の典型であるTSPを対象としている。まず、TSPに関する背景が述べられ、従来法の問題を踏まえた本手法の適用方法を示している。すなわち、組み合わせ最適化問題へ適用するにあたり、構成された情報場上の導関数を探索方向の指針とする利点を述べ、これに基づく大局的および局所的探索情報の獲得とその利用の方法について言及している。本適用に置いては、問題として与えられる都市群および都市配列は2次元波動場上のポテンシャル場群とその配置により構成される。この情報場上に都市数と同数のユニット群と、ユニット間排斥力、各都市への引き込みエネルギーが定義される。ここでユニット群の観測する場として、ユニット群の形成する場と都市の形成する場との重ね合せとすることで、ユニット結合距離を最小とする最適配置が探索されるように問題向けの変換がなされる。計算機実験を通じて従来法でアプローチ困難であった多重都市配置に対しても、本手法は最適解を獲得できることを明らかにしている。

第6章では、本論文全体の総括を述べ、以上、開発した理論と提案した手法が、対象問題の各クラスで解探索に有効な性質を持つことを結論としている。

# 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 島 公 脩  
副 査 教 授 宮 本 衛 市

## 学位論文題名

# An Approach to the Exploiting Problems by the VPM

## (振動ポテンシャル法による探索問題へのアプローチ)

探索問題を含む工学諸問題では、制約条件を満たす評価値最大であるような状態値を見つける問題がその中心を占めており、特に組み合わせ爆発を起こす問題や動的環境下での探索問題をいかに取り扱うかが重要な課題となっている。すなわち、問題解決のために用いる探索空間表現手法と探索実行手続きに関して、より柔軟で自律的な手法の実現が期待されている。本論文はこの課題への取り組みを行い、生命現象における適応能力のメカニズムを持った自律的エージェント群と波動関数の重ね合わせで表現された連続的な情報場を用いたメカニズムにより、動的環境を含む諸問題へ適用可能な探索手法を提案し、その有効性に関する研究結果をまとめたものである。提案手法では、探索に必要なエージェント群の情報獲得の場として、解空間特性を内包する連続空間構成としてエネルギー場を導入した情報場を新たに定義することにより、解空間の大域的及び局所的な情報を統合的に利用した探索を可能としている。これは一般的な解探索における従来法が、探索点毎に独立に定まる評価関数を直接の目的関数として最大化するものであり、解空間特性および探索過程の状況を反映しないゆえに局所解発生が不可避となる問題に対し、エージェント群の情報場とのエネルギー授受におけるエントロピー変化量の最小化を探索の目的関数とすることで局所解の回避が可能となることを計算機実験を通じて検証している。

本論文では、情報場の定義により、様々な問題に適用を行っている。具体的な問題として、離散化記憶項目の想起に対し、提案する場の相互作用に基づく探索能力を分散知識表現システムにおける想起メカニズムとして適用し、分散表現をなす各属性空間の多重波動場としての表現形式と、各記憶項目に対応づけたユニット群との構成により、想起メカニズムがユニット同士の相互作用的探索過程によって実現できることを述べている。つぎにロボットの動作計画に関し、2次元マップ上を動く有形状物体を前提とし、経路探索問題、ピアノ搬送問題、箱詰め問題に対するアプローチを行い、異なる配置空間上でのロボットの適応動作および複数のロボット群の相互回避移動を実現し、従来解決困難であったこれら諸問題が、情報場の柔軟な探索的利用によって適応的解決を行っている。最後に組み合わせ最適化問題の典型であるTSPを対象とし、都市配置を2次元波動場上のポテンシャル場群として構成し、この情報場上に巡回ユニット群と、ユニット間排斥場、各都市への引き込み場を定義することで、ユニットの自律動作により最適配置を探索し、従来法で困難であった多重都市配置に対しても、最適解を獲得できることを計算機実験を通じて明らかにしている。以上、本論文の成果は、次の4点に要約される。

1. 連続的な波動エネルギー空間を環境とし、この中で恒常性機能を実現するエージェント群の自律的挙動が、エントロピーの変化量最小化を実現する系であることを明らかにしている。
2. 上記の機構において、解空間として情報場を、解探索を担うエージェント群としてエントロピー変化量に基づく力学的挙動を、それぞれ導入することによって、自律的探索機構として利用可能となる枠組みを展開している。

3. 連続的情報場の利用によって、特に解空間が探索中に変化するような動的な問題解決に対して、本手法における探索過程が探索試行の連続化による漸近的なアプローチとなることを示している。

4. 代表的な探索問題として、組み合わせ爆発を起こす問題および動的プランニング問題を取り上げ、提案手法の有効性を計算機実験を通して検証している。

以上のように本論文において構築された探索機構は、情報場の導入とマルチエージェント群の自律分散的挙動特性による半自動的問題解決を実現したものであり、動的環境を含む探索問題解決への新知見を得ており、情報工学、知識工学の進歩に寄与するところ大である。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あるものと認める。