

学位論文題名

A Study on Genetics-based Adaptive Problem Solver

(ジェネティックベース適応型問題解決器に関する研究)

学位論文内容の要旨

より知的で柔軟な工学システムを構築するために、多くの困難な問題を自律的に解決出来るような仕組みの実現が期待されている。この問題解決は人工知能の分野では以前から主たる研究対象として扱われてきたが、近年、自然からヒントを得た問題解決の手法が注目を集めている。特に進化的計算論の範疇に入る遺伝的アルゴリズムは、J.H.Hollandにより提案された遺伝学に基づく多点探索手法で、これまで解決が困難であった問題に対する有効なアプローチとして知られている。遺伝的アルゴリズムの特徴は遺伝子型と呼ばれる内部表現と表現型と呼ばれる外部表現を分離し、環境との相互作用により進化的に良好な遺伝子型を獲得する点である。したがって、構造を完全に定式化出来ない複雑な問題や環境が動的に変化するような問題に対しても高い問題解決能力が期待できる。そこで本論文では、主に組み合わせ最適化問題や未知環境におけるプランニング問題等の従来の手法では解決困難な問題を対象に、遺伝的アルゴリズムとそれに基づいた機械学習の枠組みであるクラシファイアシステムを適用した適応型問題解決器を構築し、その問題解決能力の解析とさらに性能を向上させるための拡張機構について行った研究結果を論述している。

本論文は5章から構成されており、第1章では序論として、本研究の背景・目的、本論文の構成・概要について述べている。

第2章では、本論文の主題である Genetics-based Adaptive Solver(GAPS)の定義とその特性について論述している。そのためにまず、従来の人工知能分野における問題解決への取り組み手法について言及し、その問題点を指摘することにより GAPS に必要なメカニズムを明らかにしている。すなわち、GAPSは、組み合わせ最適化問題や未知環境におけるプランニング問題を解決するために、適応型の探索機構と行動ベースの強化学習機構を有している。さらにこれらの機構を実現するために遺伝的アルゴリズムとクラシファイアシステムを GAPS に適用する手法について理論的に述べることにより GAPS の構造を定式化している。また、ここで適用しているクラシファイアシステムは遺伝的アルゴリズムに基づいた学習システムで、同様の遺伝子型内部表現を用いるため、GAPSは簡便な内部探索空間を持ち、外環境との相互作用により適応的に問題を解決できることを示している。

第3章では、GAPSに適用した遺伝的アルゴリズムとクラシファイアシステムにおける問題点について言及し、その問題点を解消するための拡張メカニズムについて論述している。遺伝的アルゴリズム及びクラシファイアシステムは問題解決のための強力なツールとして、様々な検証報告がされているが、Hollandにより提案されたものは理論的フレームワークであるため、対象問題へのインプリメントに際しては種々の問題が生じ、設計者が対象問題ごとにそれらの問題を試行錯誤的に解決しているのが現状である。このような問題に対して遺伝的アルゴリズムについてはいくつかの理論的拡張が行われているが、クラシファイアシステムに対してはあまり

報告がなされていない。そこで本研究では特にクラシファイアーシステムの適用に際して生じる問題点を克服するために2種類の拡張メカニズムについて述べている。第1に、クラシファイアーシステムはその柔軟さゆえ、多様な問題に適用できるが、種々の学習パラメータが、タスクに対して適切に設定されなければならない。これらのパラメータ設定が学習性能に大きな影響を与えるにもかかわらず、経験則や試行錯誤により設定されているのが現状である。したがって、より広範なタスククラスにおいて、自律エージェントをコントロールできるように、システムアーキテクチャの一般的構築手法が必要になる。しかし高性能を有するシステムアーキテクチャは適用するタスクに強く依存し、かつシステム内の多数の要因が相互に影響を与えあうため、決定論的にアーキテクチャを決定する手法は提案されていない。そこで本論文では遺伝的アルゴリズムを用いて、クラシファイアーシステムのアーキテクチャを進化的に合成する手法を提案している。さらに未知作業空間におけるロボットマニピュレータのモーションプランニング問題を対象として、計算機実験を行い、その結果から本提案手法の有効性を述べている。第2に、クラシファイアーシステムにおいて学習すべき問題のルール空間が大きい場合にはその全てをクラシファイアーの集合として保持することは困難である。その結果、記述されたルールのみによる学習が行われ最適とはいえない解が導かれたり、または解に到達することさえ出来ない場合がある。本論文では、この問題を解決するためにルールの表現方法の拡張手法を提案している。すなわち通常のクラシファイアーに対してフィルターの役割を果たすようなマスキングクラシファイアーを定義し、より広いルール空間の記述を可能にしている。本提案手法を単純なブロックスタッキング問題に適用し、その表現能力を検証している。

第4章では、提案した拡張メカニズムを有するGAPSを5種類の問題に適用し、計算機実験により得られた結果からGAPSの問題解決能力を解析することにより工学問題への適用性について論述している。第1に、複雑な組み合わせ最適化問題としての3次元箱詰め問題を進化的探索アルゴリズムとヒューリスティックスのハイブリッド手法により効果的に解決できることを示し、3次元箱詰めルールベースの構築可能性についても言及している。さらに対象問題をマルチエージェント環境に拡張し、階層型適応手法を提案することにより、その問題を解決した結果についても述べている。第2に、2次元の未知迷路内を探索しながら出発地点から目標地点までの経路を強化学習によりプランニングする自律型ロボットナビゲーション問題を解決するナビゲータをGAPSにより構築し、その学習性能を検証している。第3に、幾何的制約条件を持つ順序づけ問題として、プロセスプランニングにおける加工順序決定タスクを遺伝的アルゴリズムベースの探索手法とクラシファイアーシステムベースの学習手法により解き、両手法の問題解決性能の差や得られた解の特性について論述している。さらに両手法を統合し、遺伝的アルゴリズムベースの探索手法により得られた解をクラシファイアーシステムの初期ルールとして利用するアプローチを提案し、問題解決能力をより向上させるシステムの構築法についても述べている。第4に、分散型計画問題として、マルチエージェント環境におけるロボットタスクプランニング問題を分散型強化学習手法により解決し、協調的プラン獲得に関する結果を述べている。最後にロボットマニピュレータの軌道生成問題をリアクティブプランニング手法により解くことにより、未知作業空間における学習性能について論じている。以上の得られた結果から工学問題に対してGAPSが高い問題解決能力を有することが示されている。

第5章では、本研究の結論として得られた結果を総括している。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 嘉 数 侑 昇

副 査 教 授 宮 本 衛 市

副 査 教 授 和 田 充 雄

学 位 論 文 題 名

A Study on Genetics-based Adaptive Problem Solver

(ジェネティックベース適応型問題解決器に関する研究)

近年、知的で柔軟な工学システムを構築するために、大規模問題や複雑な問題を解決できるような仕組の実現を目的とした研究が盛んに行われている。しかしながら、その多くは人工知能的枠組みに基づいたアプローチであり、問題自体の構造を完全に定式化できない複雑な問題や、環境が動的に変化するような問題などがボトルネックとなり、有効な方法論の構築が妨げられてきた。目的とするシステム構築のためには、対象問題への適応、学習などの自律性が必須となるが、自律性を有する工学システムの実現は未開拓の分野であり、今後の発展が待たれている状況にある。

本論文はそのような問題に対して、進化的計算論の枠組みを基本概念とすることにより、新しい問題解決機構を提案したものである。提案された機構は、遺伝アルゴリズムとクラシファイアシステムを統合した適応型問題解決機構となっており、GAPS(Genetics-based Adaptive Problem Solver)と呼ばれる。遺伝アルゴリズムはJ.H.Hollandにより提案された遺伝学に基づく多点探索手法であり、その解探索性能の高さは広く認識されてきている。クラシファイアシステムは遺伝アルゴリズムに基づいた機械学習の枠組みであり、対象問題へシステムを適応させるための強力なツールとなる。論文ではこれら2つの手法を統合することによって構築されたGAPSが有する問題解決能力の評価検討、およびGAPSに内在する問題点を克服するための拡張的方法論の提案がなされており、その主要な成果は、次の点に要約される。

1. GAPSにおける望ましいシステムアーキテクチャの設計に関して、クラシファイアシステムのアーキテクチャを遺伝的アルゴリズムを用いて進化的に合成する手法を提案し、ロボットモーションプランニング問題などを対象とした計算機実験の結果から提案手法の有効性が検証されていること。
2. GAPSの基本的アーキテクチャとして、組み合わせ最適化問題や未知環境におけるプランニング問題を解決するために、適応型の探索機構と行動ベースの強化学習機構を有することが、数理論的に示されていること。
3. GAPSの汎用性の問題において、特にクラシファイアシステムの適用に際して生じる問題点、すなわち、システムパラメータ（内部問題空間）の設定問題と、学習対象となる問題のルール空間の拡張問題に対して、その問題の様相を論理的に記述した後、これらを克服するために必要となるGAPSの拡張メカニズムが提案されていること。
4. システム中に表現される内部問題空間の組み合わせ増加問題に対して、マスキングクラシファイアと呼ぶ拡張的表現手法を提案し、ブロックスタッキングタスクに適応した実験結果から実用問題に対する適応性向上が検証されることにより、マスキングクラシファイアの持つ適応能力が確かめられていること。
5. 拡張されたGAPSの工学問題に対する適応性および有用性について、複雑な組み合わせ問題、特に3次元箱詰め問題に対して、進化的探索アルゴリズムとヒューリスティックのハイブリッド手法の効果が確かめられ、問題に応じて再構築されるルールベースの学習過程の様相が明らかにされていること。
6. 自律型ロボットナビゲーション問題、幾何的制約条件付き順序づけ問題、ロボットマニピュレータの軌道生成問題に対して、未知作業空間におけるGAPSの学習性能を評価実験により実証的に示し、提案された方法論の高い問題解決能力と学習の有効性が確かめられていること。
7. 分散型計画問題の一つであるマルチエージェント環境におけるロボットタスクプランニング問題に対して、マスキングクラシファイアの適応能力に基づいた協調的プラン獲得特性を明らかにすると共に、問題解決におけるGAPSの協調的プランニングが、結果として柔軟な問題解決能力を有することが確かめられていること。

これを要するに、著者は、進化的計算理論に基づいてジェネティックベース適応型問題解決器GAPSを提案

し、種々の応用問題を通して学習及び適応機能の有効性を十分に検討することによって、特に未知環境における自律的問題解決に対して多く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。