

学位論文題名

A Study on Emergent General Problem Solver for Autonomous Robots

(自律ロボットのための創発的一般問題解決器の研究)

学位論文内容の要旨

一般問題解決器(General Problem Solver; GPS)は、人間の問題解決過程のモデルとして、心理学者である Newell, Shaw, Simon らにより提案された。このモデルは、特定の問題を解決するものではなく、問題に関する知識が与えられたときに、それを用いて問題を解決するための枠組みである。

本論は、GPS の一つのインスタンスであるマルチエージェントプログラミングシステム(Multi-Agent Programming System; MAPS)の提案を行っている。MAPS は、複数のプログラミングエージェントから構成され、各エージェントはプログラミングを行いながら、問題空間に存在する副問題の解決を行う。最終的には、エージェントのプログラム、及びエージェント間の協調的行動により、全体の解が構成される。エージェントに与えられるのは、プログラミングのための対象問題の知識であり、具体的にはプログラムのコア関数と目標関数である。エージェントのプログラミングエンジンは、進化的計算手法の一手法である遺伝的プログラミング(Genetic Programming; GP)を採用している。本論では、自律型ロボットの行動制御問題に MAPS を適用し、その評価を行っている。

ところで、ロボットの設計問題では、抽象度の高い要求仕様をいかに実現するかが常に問題となる。そのためには形態をいかに決定するかという問題も内包している。実際の生物において、形態と機能はいかなる関係にあるか、また、どのようなファクターがそれらを決定してきたか、という疑問に対して、本論ではロボティクスの視点から論じている。そのための方法論として、上記で提案した MAPS により数種類の異なる形態をもつロボットの制御を行い、得られたプログラムを機能と見なすことで、新しい視点から形態・機能間関係の評価を行っている。

本論は、六章から構成されている。以下に各章の概要を記す。

第一章では、進化的計算手法の概説を行っている。手法のなかでも最も基本である遺伝的アルゴリズムのアルゴリズム、理論的背景、および主なアプリケーションの紹介を行っている。また、本論の中心的手法である GP のアルゴリズム、理論的背景について触れている。ここでは、基本的な概念、アルゴリズムの説明のみならず、第一の目的である自動プログラミングシステム開発のための概念、アプローチの紹介を行っており、また第一章最

後には、エージェントに基づいた分散的 GP について議論を行っている。

第二章では、これまで著者が行ってきた進化プロセスに基づく構造化自動プログラミングシステムの紹介を行っている。木構造による表現方式を採用する帰納学習法の一つである ID3 において、遺伝的アルゴリズムにより最適化を行うことにより、より詳細な学習が可能である。本論の視点からは、遺伝的アルゴリズムにより木構造が構造的に最適化されたと考えることができ、ここから得られた知見は、GP の構造化に有益なものとなる。

GP の欠点の一つとして、生成されたプログラムの構造的欠如が指摘されている。本論ではこの問題意識の下、これまでの GP における構造化のための発展的手法を概括し、その手法をさらに展開した COAST の提案を行っている。結果として、構造化されたプログラムの生成が可能となり、再利用性、動的変動に対するロバスト性の向上が確認された。ここで得られた知見はエージェントによるプログラミングの構造化として第四章で実現される MAPS に用いられる。

第三章では、生物における形態と機能の関連性について議論を行っている。はじめに形態と機能の定義を行っている。形態はいかなる状況下においても同一の性質を示し、一定の定義を与えることが可能であるが、機能においては強い状況依存性があり、断定的な定義ができない。このことは以下に続く関連性に強く関連している。次に Wice による実験例を取り上げ、その状況依存性、および構造と機能の定義を行っている。また、その関連性、および独立した形態、機能の発現に密接に関連していると思われる重複、剰余、多様性に関して議論を行い、また進化における適応プロセスからのそれぞれの発現について言及を行っている。以上の点において、本論では、ロボティクスの視点から議論を行っている。形態は、ロボットの外構造、内構造を指し、機能はロボットが有する制御構造から発現される環境への効果として定義される。特に本研究において、GP により生成されるプログラムを機能とみなすことにより、上記の議論を行っている。

第四章では、本論で提案するエージェント型自動プログラミングシステムについて述べている。まず、フォーミュラと呼ばれるサブルーチンをエージェントと定義し、そのサブルーチンエージェントの協調的結合によりプログラム生成を行う手法を提案している。FPS と呼ばれるこの手法では、構造的解を持つと期待される問題においては、GP と比較して迅速な収束が確認された。また、もう一つのエージェントアプローチとして MAPS を提案している。プログラミング能力をもつ自律型エージェントは、対象問題に内在する副問題にそれぞれが陰的に割り当たり、それぞれがその問題の解を生成し、最終的にはエージェント群間の協調プログラム全体が対象問題の解となる。従って、本手法は分散的、かつ並列的プログラミング手法と位置づけられる。

第五章では、前章で提案した MAPS を三種類の形態を持つロボットの制御問題に適用し、自動プログラミング手法としての評価と、三章で述べた機能-形態の評価を行っている。形態にある程度の柔軟性を持たすことで、そこから生じる機能について考察を行い、その関連性について議論を行っている。用いたロボットは、ヒト型ロボット、六足ロボット、ヘビ型ロボットである。

第六章では本論文全体の総括を述べ、提案した手法の工学的有用性に言及している。

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 宮 本 衛 市
副 査 教 授 和 田 充 雄

学 位 論 文 題 名

A Study on Emergent General Problem Solver for Autonomous Robots

(自律ロボットのための創発的一般問題解決器の研究)

一般問題解決器(General Problem Solver; GPS)は、人間の問題解決過程のモデルである。人間の問題解決過程において、複雑な問題に直面した場合、その問題をいくつかの副問題に分割後、それぞれを解決し、最終的にそれらの解決策を統合することにより、元々の問題の解とする戦略は様々な局面で見ることができる。このような問題解決戦略を一般化したものが GPS であり、従って、特定問題領域解決のための手法ではなく、一般的問題解決のための枠組みとして位置づけることができる。

本論文で提案されている「創発的 GPS(Emergent GPS; E-GPS)」は、上記の枠組みの工学的な実現を試みたものである。これまで GPS による解法において問題分割、及び副問題解決はすべて設計者である人間により行われてきた。提案している E-GPS では、設計者は与えられた問題知識に基づく自律エージェントの設計のみを行えば充分で、その自律エージェントが自律的に対象問題、及び他のエージェントとのインタラクションを通じて解を得ることにより、創発的解創生システムが実現される構造になっている。その結果、設計者が対象問題の十分な知識を持たずとも、E-GPS により解を得ることが可能となる。本論文の中核となすのは理論的自律エージェントの設計手法に関することであり、そのためのツールの一つとして、自動プログラミング手法の一つである遺伝的プログラミング(Genetic Programming; GP)が用いられている。

本論文で理論構築を行った E-GPS は、多くのセンサとアクチュエータを持つ実世界型自律ロボット制御問題へ適用され評価が行われている。これはロボット制御問題を対象とした問題解決器としての性能評価という主たる目的に関する議論と、その側面的議論として、生物型ロボットにおける「形態」・「機能」の関係についての考察という二面性を持つ。前者の評価として、複雑環境下で合目的行動生成が可能であることが計算機実験にて確認されている。また、後者は、E-GPS を用いてロボット制御問題を解くことにより、E-GPS により得られたプログラムを表現とした解、すなわち、これをロボットの機能として考えることにより、与えられたタスクに対して、ロボッ

トの形態と、そこから生み出される機能の関係の議論を行うことが可能であり、ロボット開発における、タスクを前提とした形態・機能決定の指針とすることができる。

以下に本論文で得られた主な成果を示す。

1. 一般問題解決器の創発、自動化の実現に関する議論を行い、実問題向き E-GPS の理論構築を行ったこと。
2. E-GPS のインスタンスとして、二つのアプローチ、FPS(Formulated Programming System)、及び MAPS(Multi-Agent Programming System)の提案を行い、計算機実験を通じて検証を行ったこと。
3. E-GPS をロボット制御問題に適用し、得られたプログラムを解析することによりロボットの形態と機能の関係に関する指針を示したこと。
4. 進化的計算手法を帰納学習に導入することにより、これまで帰納分類が困難であった問題クラスに対して、高い分類率が得られるシステムの開発を行い、計算機実験にてその有効性を確認したこと。

これを要するに本論文は、創発的一般問題解決器の理論展開とその実現を図る過程を通じて問題領域における種々の有益な知見を得ており、情報工学分野、ロボット工学分野に貢献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。