

学位論文題名

Hypercube Learning of Autonomous Distributed Systems

(自律分散システムのハイパーキューブ学習に関する研究)

学位論文内容の要旨

この論文は以下の3つの自律分散システムの学習に関して研究した成果をもとめたものである。すなわち遺伝的アルゴリズム、連想記憶モデル、およびマルチロボットシステムである。近年、自律分散システムはその柔軟性、適応性からこれまでの手法では扱いにくかった様々な問題への応用が進んでいる。これらの望ましい性質を支えているのが学習であり、その能力をさらに高めるのもまた学習手法にかかっている。本研究の課題は各システムにおける適応的能力の拡充、さらには新たな柔軟性の付加を学習を通じて行おうとするものである。まず対象となる自律分散システムの枠組みに関して、本論文で取り上げられる自律分散システムが、ハイパーキューブ上に定義されるハイパープレン操作と、その学習を陰的に実現しているシステムである、という特徴に共通していることを議論した。この操作に基づいた学習をハイパーキューブ学習と名付けている。この陰的学習を遺伝的アルゴリズムは遺伝的操作により実現しており、連想記憶モデルはエネルギー最小化という動作により実現している。マルチロボットシステムとして、特にロボット群の協調作業によって特徴付けられるシステムを想定し、協調作業に関わるロボット同志の共有資源配置が、ハイパープレン操作の枠組みに入ることを明らかにしている。本論文で提案している各学習手法は、ハイパープレン操作に着目したものである。すなわち遺伝的アルゴリズムに対して、ハイパープレン操作を陽に取り扱う二つの学習手法を提案し、特にその一手法は従来の遺伝的操作によって陰的に獲得されたハイパープレンを抽出し、探索制限に利用するものである。連想記憶モデルに関しては、従来手法の能力を拡充させる反学習操作を導入し、提案する手法のインプリメントに関して形式的・実験的に考察を行なっている。また連想記憶モデルが、ハイパープレン学習により獲得した、引込領域からの知識抽出という課題を提案し、遺伝的アルゴリズムによるアプローチについて考察している。マルチロボットシステムに関しては、ロボット群の組織化問題に対し、確率的選択手法に基づく学習手法について議論を行なっている。以上、各シス

テムに対しハイパーキューブ学習の観点から学習法の提案を行ない、その有効性を確かめている。また特に遺伝的アルゴリズムと連想記憶モデルに関してはハイパーキューブ学習によって得られた学習結果を引き出し利用するという課題を提案し、その課題に対するアプローチを示しその有効性を確かめている。

本論文は以下の6章から構成されている。

第1章においては本論文の概要を述べている。

第2章は「自律分散システム」と題し、まず一般的な定義として自律分散システムの行動関数と、その行動からのフィードバックを受けて、システムの内部パラメータを分散的な自律系の関数によって変化させる動的システムとしての構造を定義した。この定義から自律分散システムによる問題解決とは、自律性を利用した代替的手法であることを議論している。さらに本論文で取り上げるシステムは、 n 次元ハイパーキューブ上に定義される。部分頂点集合の表現形であるハイパープレント、その上に重み付けられた値に関する操作、特に重み付ハイパープレント遷移に関する操作を陰的に実行し、また各システムの学習はハイパープレント遷移に関する陰的学習でもあるという特徴があることを明かにした。ハイパープレント操作に基づいた学習を、ハイパーキューブ学習と名付けその構造を示した。一般的な定義における構造とハイパーキューブ学習における構造の両者に関して、対象とする自律分散システムとの対応関係を示すとともに以降の章で提案する学習手法のハイパーキューブ学習の観点に対する位置づけを明らかにした。

第3章は「遺伝的アルゴリズムとその適応的探索戦略」と題し、まず従来型の遺伝的アルゴリズムの持つ性質について議論する共に、悪構造問題としてのグラフィアウト問題を取り上げ、このシステムの特徴であるブラインド探索能力を示した。一方、ハイパーキューブ学習によって得られる探索能力では、解けない問題のクラスについて触れ、このような問題における適応能力の拡大を目的に、二つの付加的学習手法を提案し考察を行った。一つは探索戦略そのものにスキーマ集団からなる付加的遺伝アルゴリズムと、探索側システムのハイパープレント操作を通じた相互作用により、システムの適応能力を拡大するものであり、もう一つは遺伝的アルゴリズムの陰的学習によって獲得されたスキーマをストリング集団から抽出、学習し、内的適応度として用いることによって、環境から受ける効果を自律的に変化させて適応性を得るものである。この両提案手法を従来では困難であったクラスに適応し、その効果を確かめた。後者の提案手法における獲得スキーマの集団は、遺伝的アルゴリズムがハイパーキューブ学習によって陰的に獲得・利用しているものであり、この抽出結果を利用することにより、未知の探索空間の性質を知ることができることを述べている。

学位論文審査の要旨

主査	教授	嘉数	侑昇
副査	教授	島	公侑
副査	教授	大内	東
副査	教授	栃内	香次

この論文は次の3つの自律分散システム、すなわち遺伝的アルゴリズム、連想記憶モデル、およびマルチロボットシステムの学習に関して研究した成果をまとめたものである。近年、自律分散システムはその柔軟性、適応性からこれまでの手法では扱いにくかった様々な問題への応用が進んでいる。これらの望ましい性質を支えているのが学習であり、その能力をさらに高めるのもまた学習手法にかかっている。本論文は各自律分散システムにおける適応的能力の拡充、さらには新たな柔軟性の付加を実現するための有用な視点としてハイパーキューブ学習を提案し、その有効性を論文中で取り扱っているシステムにおいて確認したことについて論じたものである。本論文は以下の6章から構成されている。

第1章においては本論文の背景と目的および概要について述べている。

第2章では自律分散システムの一般的な定義を行い、このシステムを用いた問題解決法について議論している。この議論を通して本論文で取り上げているシステムの挙動とは、重み付きハイパープレン遷移に関する操作を陰的に実行するものであり、また各システムにおける従来の学習法がハイパープレン遷移に関する陰的学習を実現するものであることを明かにしている。以上の考察に基づきハイパープレン操作に基づいた学習を、ハイパーキューブ学習と名付け、対象システム構造の定義とこの学習法の対応関係から、学習能力拡充と柔軟性の付加を実現するための有効な各視点を明確化している。

第3章は探索手法としての遺伝的アルゴリズムに関して、ハイパーキューブ学習の視点からのアプローチにより探索能力の拡充、さらには未知の探索空間の性質獲得が有効に行えることを論じたものである。まず従来型の遺伝的アルゴリズムの持つ探索能力だけでは解けない問題のクラスについて触れ、この原因として従来手法が陰的に実現しているハイパーキューブ学習能力の低さにあることを指摘している。このことから適応能力の拡大を行うにあたり、明示的にハイパーキューブ学習の能力向上を実現する二つの付加的学習法を提案しその有効性を確かめている。その一つは、遺伝的アルゴリズムの陰的学習によって獲得されたスキーマをストリング集団から抽

出、学習し、内的適応度として用いることによって、環境から受ける効果を自律的に変化させて適応性を得るものである。この両提案手法により従来では困難であった問題クラスでも柔軟な適応性を示すことが可能となり探索能力が向上することを確認している。

第4章では連想記憶モデル、特に Hopfield 型の自己想起型連想記憶モデルの記憶性能に関する問題点を述べ、記憶性能向上を目的に、ハイパーキューブ学習の視点から反学習法の導入が有効であることを示し、そのインプリメンテーションに関して形式的・実験的に検討を行ない、その結果、提案学習法により従来の学習法に比較して、極めて高い性能が得られることが示されている。ここではさらにハイパーキューブ学習により作られている引込領域から、その学習結果を引き出すことを目的に、遺伝的アルゴリズムによる引込表現式の獲得に関する手法の提案を行ない、その有効性を示している。この手法により獲得される表現式が引込領域の特徴的距離関数となっており、従来複雑に見えていた想起過程の振舞いを、容易な形で表わすことが可能であることを示唆している。

第5章は柔軟な生産システムのフレームワークとして、発現的協調処理能力によって特徴付けられるマルチクライアントロボット群を想定し、ロボット群の組織化管理問題を取り扱うことを目的としている。このシステムのモデル化手法としてペトリネットの任意の部分を抽象化できる構造化ペトリネットを提案し、これを利用したモデルによる動的疑似分散型管理手法を新たに提案している。またプロセス代数を独自の定義を加えた形式として導入し、課題である組織化管理問題がハイパープレーン操作で表現可能なロボット間における平行的共有資源配置問題として表されることを明かにしている。以上の考察を受けてロボットの組織化に対し、ハイパーキューブ学習法を実現する確率的学習選択機構を提案し、この有効性を確認している。

第6章は結論であり、本研究で得られた成果を総括し、要約して述べている。

これを要するに、著者は自律分散システムにおける根幹的学習手法の枠組みとして、ハイパーキューブ学習法を提案し種々の計算機実験によりその有効性を検証し、自律分散システムの高度な自律・学習機能実現への新たな視点を明かにしたものであり、精密工学及び情報工学に寄与するところ大であり、よって、著者は博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。