

## 学位論文題名

## 学習と適応機能を持つ知的制御システムに関する研究

## 学位論文内容の要旨

近年、制御対象の大規模化、複雑化が進み、制御対象の構造を把握することが困難になってきた。そのため、オペレータが勘と経験を頼りに操作している場合が少なくない。また、既にある程度自動化されているシステムにおいても、環境や状況が変化した場合に対処するため常にオペレータが監視を行っている。このように依然として、オペレータの介在するシステムが多く存在する。最近、顧客ニーズの多様化により、高品質な多品種小量生産が求められている。このため、オペレータの操作を軽減する、あるいは自動化することが迫られてきている。本論文では、人間が持つような柔軟な情報処理機構をもった制御システムを知的制御システムと考える。最近、知的制御システムに関する研究が盛んに行われてきている。しかし、現段階では人間がまったく介在しない、制御系全体の完全な自動化を行うことは難しい。そこで本論文では、完全な自動化ではなく、大目標へ到達するためのマクロな判断のみを人間が行い、言語や動作といった日常使用する伝達手段で機械に指示を与え、機械は与えられた指示を満たすように行動(対象を制御)し、その結果や経過を人間に伝達するような知的制御システムを想定する。このようなシステムにおける機械(エージェント)は、外界や他のエージェントと協調しながら人間の指示に対応する動作を行い、さらに状況が変化して現在の知識では対応できなくなった場合にも、現在の知識を学習したり新しい知識を発想するなどして状況変化に適応する機能を備える必要がある。そこで、本論文ではこのような学習と適応機能を持つ知的制御システムに関する研究結果を論述している。

本論文は8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、本論文で想定する知的制御システムにおける制御エージェントの定義付けを行っている。オペレータの操作は定量的な制御の為の操作や、定性的な制御の為の操作、またそれらが統合された操作として捉えることができる。これらを人間の情報処理と比較すると、定量的な制御は感覚的に行われる信号レベルの処理として、また定性的な制御は認識、判断、計画等といった記号レベルの処理として捉えることができる。人間の情報処理のモデルとしてラスムッセンモデルが提案されているが、人間や外界との協調を可能にするためには、さらに親和性の高い知識表現が必要である。また、相手の意図していることを瞬間的にくみ取ったり、代替案の想起と評価を瞬間的に行ったりする「直感」が必要である。これを実現するためには、各概念を分散表現し、マクロレベルとミクロレベルの知識間でのトップダウン処理とボトムアップ処理が必要である。そこで、このような機能を実現するための枠組みとして直感に基づくエージェントモデルを提案している。

第3章では、制御エージェントの信号レベルでの学習・適応機能を実現する方法として、ニューラルネットワークを用いた制御手法を提案している。本手法は、オンライン、オフラインを問わず、データからの学習により信号レベルのコントローラを獲得することができる。また、オンライン学習によりニューラルネットワークを修正していくことで、対象や外界の変化に対応することが可能であることを示している。さらに、学習効率を向上させるためのニューラルネットワークへの入力の変換方法について示している。

第4章では、本論文の主題である、新たな知識を発想することで状況変化に適応する機能を実現する要素技術として、カオスファジィ連想メモリシステムを提案している。まずは、その基になっている技術である、カオス的最急降下法とファジィ連想メモリシステムについて言及している。カオス力学系は「機能を持つ複雑系」と呼ばれ、生物に有効に利

用されている可能性がある。カオス力学系を知識情報処理に利用するためには、複雑な数値情報を人間が理解しやすい親和性の高い表現に変換可能なファジィのようなパラダイムを利用する必要がある。そこで、すぐれた記憶探索能力を持つカオス（カオスの最急降下法）をファジィ連想メモリシステムにおける記憶探索に応用したカオスファジィ連想メモリシステムを提案している。このシステムは次の2つの特徴を有している。(1)記憶させたパターンの中で入力パターンに近い範囲にある記憶パターンを動的に想起する機能。(2)記憶させていないが意味的に有効である新たなパターンを想起する機能。ここで、想起されたパターンが意味的に有効であるかどうかの判断は、ファジィを用いることで実現している。

第5章では、カオスファジィ連想メモリシステムの有効性を示すために、発想支援への応用について述べている。本システムが持つ上記2つの機能を用いることで、発想支援手法として知られている収束的思考支援と発散的思考支援を実現することができる。本論文では、表情画像の生成を例にとり、シミュレーション結果を用いてその有効性を示している。まず、カオスの想起によりはじめに連想メモリ上で記憶している表情画像に近い表情画像の候補を複数生成する（発散的思考支援）。ユーザはその中から自分のイメージに近い表情画像を選択し、選択した表情画像に近い表情画像の候補を再びカオスの想起により生成する。このような過程を繰り返すことで、ユーザのイメージを徐々に明確化していくこと（収束的思考支援）が可能である。

第6章では、制御エージェントの記号レベルでの学習機能を実現する手法として、移動ロボットを例に取り、ファジィ連想メモリシステムを用いた人間の動作指示による記号レベルでの学習法を提案している。この方法は、人間がロボットに動作で指示を与え、ロボットはそのマクロな指示の意味（たとえば8の字の指示）と指示に含まれる程度（例えば”横に大きな”8の字）を理解し、同時にその指示に暗に含まれている性質（”対称性”）をくみ取り、記憶している軌跡を学習し、行動する方法である。これは、階層的知識構造のモデルにおけるミクロなセンサ情報とマクロな概念の間のトップダウンボトムアップ処理を用いることで実現している。本手法により、人間や外界と協調するために必要な、マクロな指示の認識、それにし上がった行動と学習という機能を実現できる。

第7章では、制御エージェントの記号レベルでの適応機能を実現する手法として、移動ロボットのパスプランニングを例にとり、カオスファジィ連想メモリシステムを用いた記号レベルでの環境変化への適応手法を提案している。この方法は、環境が変化し自分が持っている制御知識では対応できない場合に、その場でミクロ知識である制御知識を基にカオスの想起を行い回避方向の候補を想起し、マクロ知識である環境知識を用いてゴールまでのパスを予測評価し、評価が高い方向へ進む、という方法である。この方法も、階層的知識構造のモデルにおけるミクロ知識とマクロ知識の間のトップダウンボトムアップ処理を用いることで実現している。本手法により、移動ロボット(制御エージェント)は人間が行うような既存の知識に基づく発想により、自律的に環境の変化に適応できると考えられる。

第8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	島	公	脩	
副査	教授	土	谷	武	士
副査	教授	嘉	数	侑	昇
副査	教授	伊	達	惇	
副査	助教授	山	口	亨	(宇都宮大学大学院工学研究科)

## 学位論文題名

### 学習と適応機能を持つ知的制御システムに関する研究

制御システムは、制御の対象となるサブシステムと対象を目的に合うように動かす制御信号を生成するサブシステム(コントローラ)により構成され、コントローラは計測・制御に加えて予測・最適化・計画・学習・適応などの機能を持つことが望ましい。そこで従来の制御技術を超えてそれらの機能を有機的に統合し得るシステムとして、制御における信号処理と人工知能における推論プロセスとを融合した知的制御システムの可能性が研究されつつある。この知的制御システムとしては、すでにいくつかの階層的知識構造のモデルが提案されているが、学習や適応の機能および人間・外界とのインターフェイスが十分に考慮されていないため、そのまま実システムに用いるのは困難であった。

本論文は、階層的知識構造モデルに基づきつつ状況変化にもある程度自律的に対応できるシステムの実現をめざし、人間との親和性の高いインターフェイスや学習・適応機能を有する知的制御システムを提案したものであり、8章により構成されている。

第1章は序論である。

第2章では、抽象的マクロ知識と具体的ミクロ知識の二層を持ち、その間のトップダウン処理とボトムアップ処理により記号レベルでの学習・発想を実現する制御エージェントモデルを提案している。この制御エージェントは、外部システム・人間との対話機能、外界との相互作用による学習機能、および環境の変化に対する適応機能を持ち、外界との相互作用を司るローカルフィードバックとあわせて制御情報システムを構成するものである。

第3章では、制御エージェントの信号レベルでの学習・適応機能を実現する方法として、ニューラルネットワークを用いた系の表現とコントローラ的设计手法を提案している。この手法は、オンライン・オフラインを問わず、データからの学習によりコントローラを得ることができる。

第4章では、本論文の主題である、新たな知識を発想することで状況の変化に適応する機能を実現する要素技術として、カオスファジィ連想記憶システムを提案している。このシステムは、記憶させたパターンの中で入力パターンに近い範囲にある記憶パターンを動的に想

起する機能および記憶にないが意味的に有効である新たなパターンを生成する機能を持つ。

第5章では、カオスファジィ連想記憶システムの有効性を示すために、発想支援への応用について述べている。すなわち、本システムが持つ前記の二つの機能を用いることにより、発想支援手法として知られている収束的思考支援と発散的思考支援を実現することができる。表情画像の生成におけるシミュレーション結果を用いてその有効性を示している。

第6章では、制御エージェントの記号レベルでの学習機能を実現する手法として、移動ロボットを対象として、ファジィ連想記憶システムを用いた人間の動作指示による記号レベルでの学習法を提案している。この方法により、人間や外界と協調するために必要な、マクロな指示の認識、それにしたがった行動と学習の機能を実現できる。

第7章では、制御エージェントの記号レベルでの適応機能を実現する手法として、移動ロボットの径路計画を例にとり、カオスファジィ連想記憶システムを用いた記号レベルでの環境変化への適応手法を提案している。この方法は、環境が変化し自分が持っている制御知識では対応できない場合に、その場でマイクロ知識である制御知識を基にカオス的想起を行い回避方向の候補を生成し、マクロ知識である環境知識を用いて目的地までの径路を予測評価し、評価が高い方へ進む、という方法である。本手法により、移動ロボットの制御エージェントは人間が行うような既存の知識に基づく発想により、自律的に環境の変化に適応できる。

第8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。

これを要するに、著者は、知識処理と従来の制御とを融合した知的制御システムにおいて、より現実的なシステムを構築するために、階層知識間のボトムアップダウン処理により学習や発想機能を持たせることで状況変化にある程度自律的に適応できる制御情報システムを提案し、この分野に関して有益な知見を得たものであり、制御情報工学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あるものと認める。