

帰納論理プログラミングにおける 計算論的推論手法に関する研究

学位論文内容の要旨

近年の計算機とそれを取りまくネットワーク環境の高度な発達により、種々のデータが計算機上に蓄積されつつある。蓄積されたデータは複雑かつ大量であるため、データの特徴づける規則を手で得ることは困難である。そこで、計算機にデータの収集・蓄積・問い合わせをさせるだけでなく、データから新しい知識を学習または発見させる必要性が生じている。

本研究では、帰納論理プログラミングという枠組みを用いて、計算機に宣言的な知識を学習ならびに発見させる問題を扱う。宣言的な知識とは文章として表現されるような知識のことである。すなわち、人間にとって理解可能かつ再利用可能な知識を計算機によって獲得することを目指す。帰納論理プログラミングとは、データの集合からデータの特徴づける論理的な規則を計算する枠組みである。この枠組みを用いると、文の集合からの文法の学習、計算結果の集合からのプログラムの自動合成、関係データベースのタプルの集合からの問い合わせ文の自動生成など種々の学習や発見を統一的に議論できる。

現在、帰納論理プログラミングの主流は、相対包摂に基づく共通汎化を求める手法である。ところが、理論的な整備の遅れから、これらの手法が扱う規則には大きな制限がある。そこで本論文では、理論的背景が明らかである底節交差汎化法と呼ばれる手法を提案することにより、この制限を取り払う。その結果、従来のシステムより広いクラスに対する帰納論理プログラミングへの道が切り開かれる。

また、帰納論理プログラミングの研究において、新しい述語を自動生成する問題は困難であることが知られている。従来からスキーマを与えるなどの手法が提案されてきたが、本論文では、たとえスキーマを与えたとしても所与の具体例からの学習は非効率的であることを証明する。そこで、具体例に関する質問とスキーマを併用する新たな手法を提案し、この手法によって効率的な学習が可能となるクラスを明らかにする。すなわち、新述語の自動生成問題に対しても肯定的な結果を示す。

これを要するに本論文では、新たな帰納論理プログラミング手法である底節交差汎化法を提案し、より広いクラスに対する帰納論理プログラミングが可能となることを示し、また、正則な論理プログラムによって表される関係はスキーマと質問により効率良く学習可能であることを明らかにした。

学位論文審査の要旨

主査	教授	原口	誠
副査	教授	田中	讓
副査	教授	宮本	衛市
副査	助教授	山本	章博

学位論文題名

帰納論理プログラミングにおける 計算論的推論手法に関する研究

近年の計算機技術とネットワーク環境の高度な発達により、データの蓄積があらゆる場面で行われるようになってきた。蓄積されるデータ集合は大量でありかつ計算機によって可読な状態であるため、その中に含まれるデータの性質を特徴づける一般的規則を計算機によって学習・発見することも実現されつつある。しかし、実用的な学習・発見手法の開発を支える基盤理論の整備は進んでおらず、より適切なシステム設計論を構築できないことが問題となっている。

本研究は、このような問題の解決を目指して、帰納論理プログラミングに注目した上で、論理と計算論という十分な理論的基盤に支えられた学習・発見手法を構築するという問題を扱っている。帰納論理プログラミングは論理プログラミングの応用分野として近年活発に研究されている。そこではすでに多くの推論システムが開発され、新薬の合成を始めとする様々な分野への応用が試みられている。また、論理プログラミングの基礎理論については数多くの成果があげられてきたため、帰納論理プログラミングにも同様な基礎が構成されると期待されていた。しかし、推論システムの実装を急ぐあまり、基盤理論の構成が不十分なままになっているのが現状である。

そこで本論文では、発見される仮説の正当性を理論的に保証するとともに、仮説の発見に至る計算時間と領域を解析することが可能であるような新しい帰納論理プログラミングの推論手法を2種類提案している。そして、従来の同種の推論手法との対応関係を明確にし、提案方式の優位性を提示している。仮説の正当性の保証については、論理プログラミングの理論を改良することで行い、また計算時間・領域の解析は計算論的帰納推論や計算論的学習理論の成果を用いている。本論文で提案する手法は従来の規則発見システムにはない理論的な基礎を持つため、より適切なシステム設計への新たな方向性を与えるものである。

本論文で与えられた第一の推論手法は、複数の概念間にまだがる共通の規則を導き出す底節交差汎化法である。この手法は、未知の関係に関する複数個の具体例から、それらに共

通する単一の規則を導出するものである。有限個の具体例だけから単一の規則を導出するという制約から、既知のプログラムを背景知識として利用することを認めている。著者はこの手法で導出される規則が、与えられた具体例のすべてを背景知識に関して相対的に包摂するものであり、かつ、そのようなものに限ることを証明している。また、従来の研究で提案されたきた推論手法では、背景知識である既知プログラムに強い制約が必要であったが、底節交差汎化法ではそのような制約が全く無いという画期的な特徴を持つ。さらには、従来手法では単一の関係に関する例だけを扱っていたが、底節交差汎化法では異なる関係にまたがる具体例を扱うことが可能である。

さらに、底節交差汎化法を実現する推論システムを構築するために、その手法がアブダクションと論理プログラムのボトムアップ評価、そして背景知識を用いない最小汎化の3つの部分手法に分解できることを示している。アブダクションとはある事実を説明するために必要な事実を発見する手続きである。そして、その手続きが論理プログラムのトップダウン評価の単純な拡張で実現できることを用いて、底節交差汎化法をPrologインタープリターの改良によって実現している。論理プログラムの実行は一般には有限時間で停止しないという問題があるが、本論文では計算論的学習理論の成果である弱縮小プログラムの概念を導入し、推論システムが有限時間で必ず停止することを保証している。

帰納論理プログラミングの推論システムを効率的なものにするためには、背景知識や補助的關係をシステムに与えて探索空間を減らす技術が必要になる。これらの補助情報をも自動的に発見するために、本論文では第二の推論手法として、スキーマと質問を用いた論理プログラム学習を提案している。本論文でいうスキーマとは、仮説となるプログラムにおける手続きの呼び出しパターンのことである。

まず、正則言語を論理プログラムの意味と対応させれば、有限オートマトンが論理プログラムのスキーマに対応することを示している。そして、有限オートマトンの学習に関する従来の研究を分析することにより、たとえ学習の対象となる論理プログラムのスキーマが既知であると仮定しても、学習の対象に含まれる補助述語の数を制限しない場合には、あらかじめ与えられた例だけからでは効率よい学習が不可能であることを証明している。

さらに、所属性質問と等価性質問に答えてくれる教師を仮定し、正則という条件を満たすスキーマを仮定すれば、目標の関係を多項式時間で学習できることを証明し、そのアルゴリズムを構成している。この成果は、有限オートマトンや木オートマトンの学習手法の一般化となる強力な手法である。

これを要するに、著者は、帰納論理プログラミングの枠組みを利用することで、論理プログラミング理論と計算論的学習理論によって裏付けられた新たな推論手法に関して新知見を得たものであり、知識情報処理工学に対して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。