

学 位 論 文 題 名

帰納等式プログラミングにおける多相型を
用いた一般化と再帰性の推論に関する研究

学位論文内容の要旨

近年、計算機の普及にともない専門家以外が計算機を使用するようになってきており、計算機に処理をおこなわせるために必要なプログラムを提供できる専門家の不足が問題となっている。本研究は、ある未知関数に対して、入力と出力の組からなる例と、背景知識として与えられた既知のプログラムから、それらの例を正しく計算するプログラムを推論することで、未知の関数に対するプログラムを推論するという問題を扱う。この問題はいわゆる例からの帰納推論問題の一つであり、古くからその重要性が指摘されてきたが、現在に至るまで決定的な手法が与えられておらず、数多くの研究が続けられている問題である。

帰納推論問題に対して、現在、主流の一つとなっている研究分野に帰納論理プログラミングというものがある。これは、論理プログラミングに基づいて帰納推論問題を扱うものである。論理プログラミングの持つ性質のため、帰納論理プログラミングは各種手法の意味を明確に捉えることができ、理論的な取り扱いが容易であるという特徴を持つ。しかし、関数プログラミングにおいて用いられている多相型など多くの手法が導入されないままになっている。さらに、これまでに提案されている帰納推論は再帰性の推論に関して十分ではない。

そこで、本論文では現代的なプログラミング・パラダイムとして注目を浴びている等式プログラムを用いた関数の帰納推論を提案する。これを帰納等式プログラミングと呼び、帰納等式プログラミングを構成するいくつかの有益な手法を提案する。等式プログラミングは関数プログラミングと論理プログラミングの両方の良い性質を併せ持っている。関数プログラミングからは処理の流れとプログラミングの構造が一致するという点と、構成子項と静的な多相型システムという洗練されたプログラミング技術を受け継ぎ、論理プログラミングからは宣言的な記述を特徴とする構文と意味の一致という特徴を受け継いでいる。そこで、両プログラミング・パラダイムに基づいて研究されてきた帰納推論手法を帰納等式プログラミングへと応用し、さらに従来の帰納手法を改良するとともに、等式プログラミングの特徴を生かした新たな帰納推論手法についても提示する。

本論文の主要な結果は、さまざまな再帰性の推論手法の定式化と、多相性を考慮した型システムに基づいた一般化である。関数型プログラミングを基礎とする帰納推論において

提案された再帰スキーマを用いた再帰性の推論手法を帰納等式プログラミングへと自然に拡張し、帰納等式プログラミングにおける再帰スキーマを用いた再帰性の推論手法を与える。本論文での示す拡張は複数個の中間関数を新たに導入することを許すというものであり、それによって、より広範な関数の推論が可能になる。また、等式プログラミングを用いることで、再帰性の推論手法は見通しのよいものとなり、その正当性を容易に示すことができる。

さらに再帰性の推論を複雑化と一般化という、より単純な形のものに分解し、それらを組み合わせることで再帰的な等式プログラムを推論する手法を示す。複雑化は項書き換え系で用いられる簡約化の逆操作であり、帰納等式プログラミングにおける再帰性の推論で本質的な操作であると考えられる。複雑化を用いた再帰性の発見手法を示すことによって、関数プログラミングにおけるアドホックな再帰性の推論手法に論理的な意味を与えることができるようになる。

また、等式プログラミングでは静的な多相型システムが用いられ、プログラムを安全でかつ、柔軟なものに保つことができる。本論文では、帰納等式プログラミングに静的な多相型システムを導入することにより、推論の効率が改善され、かつ、きめ細かで安全な推論が可能となることを示す。これまでに提案されてきた一般化手法は、多数の例が与えられたときに用いることができるものであるのに対して、多相型を積極的に用いた一般化手法は、少数の例から大胆な一般化を可能とし、効率よく仮説を導き出すことができる。その一方で、多相型による一般化は型に基づくものであり、過度の一般化をおこなわないことを保証する安全な一般化手法である。

型を帰納推論に応用するという研究は、帰納論理プログラミングにおいてもおこなわれているが、それらは多相ではない型を用いており、その結果、過度の一般化をおこなわないだけであったり、背景知識の選択を効率よくおこなうものに過ぎない。本論文で与える手法は多相型を積極的に用いることで一般化をおこなう、単純で、かつ強力な手法となっている。

また、これらの手法を組み合わせた帰納等式プログラミング・システムの計算機上への実装も示す。計算機での実行の際には組み合わせ爆発を避けるために、なんらかの高速化をおこなう必要がある。等式プログラムに対して関数規則でなくてはならないという自然な制約からいくつかの実装上の高速化技法を考案し、実用的な時間内に興味ある関数の推論が成功したことを報告する。これらの高速化技法は帰納等式プログラミングの産業応用を考える上でも重要な技術であると考えられる。

最後に、新たな帰納推論の枠組みである帰納等式プログラミングを提案し、帰納等式プログラミングにおける再帰性の推論手法と、多相型を用いた一般化手法を示した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 田 中 謙
副 査 教 授 原 口 誠
副 査 教 授 宮 本 衛 市
副 査 助 教 授 山 本 章 博

学位論文題名

帰納等式プログラミングにおける多相型を用いた一般化と再帰性の推論に関する研究

近年、計算機の普及にともない専門家以外が計算機を使用するようになってきており、計算機に処理をおこなわせるために必要なプログラムを提供できる専門家の不足が問題となっている。

本研究は、このような問題の一つの解決法を目指して、ある未知関数に対して、入力と出力の組からなる例と、背景知識として与えられた既知のプログラムから、それらの例を正しく計算するプログラムを推論するという問題を扱っている。この問題はいわゆる例からの帰納推論問題の一つであり、古くからその重要性が指摘されてきたが、現在に至るまで決定的な手法が与えられておらず、数多くの研究が続けられている問題である。

帰納推論問題に対して、現在、主流の一つとなっている研究分野は、論理プログラミングに基づいて帰納推論問題を扱う帰納論理プログラミングである。帰納論理プログラミングは各種手法の意味を論理的に明確に捉えることができ、理論的な取り扱いが容易であるという特徴を持つ一面、関数プログラミングにおいて用いられている多相型などの多くのプログラミング手法の導入が困難であり、再帰性の推論に関して十分な議論がなされていないという問題を持つ。

本論文は等式プログラムを用いた関数の帰納推論を提案し、これを帰納等式プログラミングと名付けて体系化し、この体系を構成するいくつかの有益な手法を提案している。等式プログラミングは関数プログラミングと論理プログラミングの両方の良い性質を併せ持っている。関数プログラミングからは処理の流れとプログラミングの構造が一致するという点と、構成子項と静的な多相型システムという洗練されたプログラミング技術を受け継ぎ、論理プログラミングからは宣言的な記述を特徴とする構文と意味の一致という特徴を受け継いでいる。本論文は、両プログラミング・パラダイムに基づいて研究されてきた帰納推論手法を帰納等式プログラミングへと応用し、従来の帰納手法を改良するとともに、

等式プログラミングの特徴を生かした新たな帰納推論手法について提示している。

本論文の主要な結果は、さまざまな再帰性の推論手法の定式化と、多相性を考慮した型システムに基づいた一般化である。関数型プログラミングに基づく帰納推論において提案された再帰性の推論手法を帰納等式プログラミングへと拡張し、帰納等式プログラミングにおける再帰性の推論手法を与えた。この拡張は複数個の中間関数を新たに導入することを許し、それによって、より広範な関数の推論が可能になった。等式プログラミングを用いることで、再帰性の推論手法の見通しがよくなり、正当性を容易に示すことができるようになった。

再帰性の推論を複雑化と一般化という、より単純な形のものに分解し、それらを組み合わせることで再帰的な等式プログラムを推論する手法を示している。複雑化は項書き換え系で用いられる簡約化の逆操作であり、帰納等式プログラミングにおける再帰性の推論で本質的な操作であると考えられる。複雑化を用いた再帰性の発見手法を示すことによって、関数プログラミングにおけるアドホックな再帰性の推論手法に論理的な意味を与えることができるようになった。

等式プログラミングでは静的な多相型システムが用いられ、プログラムを安全でかつ、柔軟なものに保つことができる。本論文では、帰納等式プログラミングに静的な多相型システムを導入することにより、推論の効率が改善され、きめ細かで安全な推論が可能となることを示している。これまでに提案されてきた一般化手法は、多数の例が与えられたときに用いることができるものであるのに対して、多相型を積極的に用いた一般化手法は、少数の例から一般化を行うことを可能とし、効率よく仮説を導き出すことができる。同時に、多相型による一般化は型に基づき、過度の一般化を制約する役目も果たす。

型を帰納推論に応用するという研究は、帰納論理プログラミングにおいても行われているが、それらは多相でない型を用いており、その結果、過度の一般化を制約するだけであったり、背景知識の選択を効率よく行うに過ぎない。本論文で与える手法は多相型を積極的に用いることで一般化を行う、単純で、かつ強力な手法となっている。

これらの手法を組み合わせた帰納等式プログラミング・システムの計算機上への実装も行われている。等式プログラムに対して関数規則でなくてはならないという自然な制約を用いて、いくつかの実装上の高速化技法を考案しており、実用的な時間内に興味ある関数の推論が成功したことを報告している。これらの高速化技法は帰納等式プログラミングの産業応用を考える上でも重要な技術であると考えられる。

これを要するに、著者は、帰納等式プログラミングという新しい体系を打ち立て、その再帰性の推論手法と、多相型を用いた一般化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。