

学位論文題名

真偽維持システムを用いた項書換えシステムの
推論手続きに関する研究

学位論文内容の要旨

項書換えシステムは、等式を左辺から右辺への書換え規則とみなし、項と呼ばれる式を書換えることによって計算を行う計算システムである。その応用として、ソフトウェア工学の分野では代数的仕様記述、関数型プログラミングに、また、人工知能の分野では定理自動証明などに用いられている。

項書換えシステムのもつべき望ましい性質にはいろいろなものがあるが、その中でも停止性と合流性は特に重要である。書換え規則を適用する順序や場所によらず、停止性は無限に書換えが続かないこと、合流性は計算結果が一意であることを保証する。停止性の検証に最もよく用いられる方法は、簡約順序と呼ばれるクラスに属する半順序 \succ を適当に定め、すべての書換え規則について(左辺) \succ (右辺)の成立を確認することである(停止性が検証できれば、合流性の検証は容易であることが知られている)。与えられた等式仕様をみだす完備な項書換えシステムを生成する推論手続きは完備化手続きと呼ばれている。

従来から停止性検証及び完備化を行う推論手続きが提案されているが、その実現手法では推論の重複などを多く生じ、非効率的である。そのような推論の高速化技法として、人工知能の分野においては真偽維持システム(Truth Maintenance System:TMS)が提案されている。真偽維持システムは推論手続き(問題解決器)の行った推論をその根拠と共に保持することによって、その後の推論手続きを効率よく実行させるサブシステムである。ただし、推論手続きが真偽維持システムにどのような推論を与え、また、どのような問い合わせを行えばよいかを設計することは一般に難しく、問題領域ごとに考察する必要がある。

本論文は、問題領域として項書換えシステムの停止性検証と完備化を対象とし、そこに含まれる効率上の問題点を解決するために著者が設計・開発した真偽維持システムとそれを用いた推論手続きについて述べたものである。その成果は以下のように要約できる。

1. 従来の停止性検証手続きの問題点である、(1)無駄なバックトラック、(2)推論の再検知、及び(3)矛盾の再検知を避けることにより、実行時間が非常に短縮された。
2. 複数の簡約順序を扱うことによる推論の重複を避けることができ、完備化手続きの実行時間が非常に短縮された。

論文の構成は以下のとおりである。

第1章は序論であり、本研究の背景とその目的を述べている。

第2章は本論の準備として、抽象書換えシステムをとおして項書換えシステムの諸性質を述べている。また、項書換えシステムの停止性検証法と完備化手続きについて紹介している。

第3章では、真偽維持システムについて述べている。特に真偽維持システムとしてよく知られている ATMS (Assumption-based TMS) について紹介している。

第4章では、項書換えシステムの停止性検証手続きの計算効率上の問題点を説明し、それを解決するために著者が設計・開発した真偽維持システム及びそれを用いた検証手続きについて述べている。項書換えシステムの停止性を検証するためには、項を構成している演算子の集合上に、ある制約をみたす簡約順序を決定しなければならない。この半順序は、従来の実現手法のようにバックトラック法を用いて決定することが可能であるが、その際、無駄なバックトラック、推論の再検知、矛盾の再検知という効率上の問題点を数多く生ずる。本章では、著者の推論手続きがいかにしてこれらの問題点を避けているのかを明らかにし、その有効性を論じている。

第5章では、完備化手続きの問題点を解決するために著者が設計した真偽維持システム及びそれを用いた完備化手続きについて述べている。一般に、完備化手続きは等式の集合及び適切な簡約順序を入力とし、完備な項書換えシステムを出力する。特に本論文で対象としている手続きは、入力として簡約順序の候補を複数個受けとり、その中から適切なものを自動的に選択するものとしている。この手続きは、論理的には、入力として簡約順序を1つだけ受けとる手続きを1つのプロセスとし、これらを並行に動作させたものと等価である。しかし、その場合には、各プロセス間で多くの推論の重複が生じ、無駄が多い。著者の考案した完備化手続きでは、その問題のために設計された特別なデータ構造をノードとしてもつ真偽維持システムにより、それらの重複が生じないように推論を管理することにより、この問題を解決し効率を改善している。

第6章では、本研究の結論及び今後の展望について述べている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 大 内 東
副 査 教 授 新 保 勝
副 査 教 授 宮 本 衛 市
副 査 教 授 嘉 数 侑 昇
副 査 助 教 授 栗 原 正 仁

学 位 論 文 題 名

真偽維持システムを用いた項書換えシステムの 推論手続きに関する研究

項書換えシステムは、等式を左辺から右辺への書換え規則とみなし、項と呼ばれる式を書換えることによって計算を行う計算システムである。その応用として、ソフトウェア工学の分野では代数的仕様記述や関数型プログラミングに、また、人工知能の分野では定理自動証明などに用いられている。項書換えシステムに関する推論手続きには停止性検証や完備化などがあるが、いずれも従来の実現手法では推論の重複などを多く生じ、非効率的である。

そのような推論の高速化技法として、人工知能の分野においては真偽維持システムが提案されている。真偽維持システムは推論手続き(問題解決器)の行った推論をその根拠と共に保持することによって、その後の推論手続きを効率よく実行させるサブシステムである。ただし、推論手続きが真偽維持システムにどのような推論を与え、また、どのような問い合わせを行えばよいかを設計することは一般に難しく、問題領域ごとに考察する必要がある。

本論文は、項書換えシステムの推論手続きである停止性検証手続き及び完備化手続きに含まれる効率上の問題点を解決するために著者が設計・開発した真偽維持システムとそれを用いた新たな推論手続きについて述べたものである。本論文の成果は以下のように要約できる。停止性検証に対しては、

従来の停止性検証手続きの問題点である、(1) 無駄なバックトラック、(2) 推論の再検知、及び(3) 矛盾の再検知を避けることにより、実行効率を改善している。

完備化に対しては、

複数の簡約順序を扱うことによる推論の重複を避けることができ、完備化手続きの実行効率を改善している。

本論文は6章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景とその目的を述べている。

第2章は本論の準備として、抽象書換えシステムを通して項書換えシステムの諸性質を述べている。また、項書換えシステムの停止性検証法と完備化手続きについて紹介している。

第3章では、真偽維持システムについて述べている。特に真偽維持システムとしてよく知

られている ATMS (Assumption-based TMS) について紹介している。

第4章では、項書換えシステムの停止性検証手続きの計算効率上の問題点を説明し、それを解決するために著者が設計・開発した真偽維持システム及びそれを用いた検証手続きについて述べている。項書換えシステムの停止性を検証するためには、項を構成している演算子の集合上に、ある制約をみだす簡約順序を決定しなければならない。この半順序は、従来の実現手法のようにバックトラック法を用いて決定することが可能であるが、その際、無駄なバックトラック、推論の再検知、矛盾の再検知という効率上の問題点を数多く生ずる。本章では、著者の推論手続きがいかんにしてこれらの問題点を避けているのかを明らかにし、その有効性を論じている。

第5章では、完備化手続きの問題点を解決するために著者が設計した真偽維持システム及びそれを用いた完備化手続きについて述べている。一般に、完備化手続きは等式の集合及び適切な簡約順序を入力とし、完備な項書換えシステムを出力する。特に本論文で対象としている手続きは、入力として簡約順序の候補を複数個受けとり、その中から適切なものを自動的に選択するものとしている。この手続きは、論理的には、入力として簡約順序を1つだけ受けとる手続きを1つのプロセスとし、これらを並行に動作させたものと等価である。しかし、その場合には、各プロセス間で多くの推論の重複が生じ、無駄が多い。著者の考案した完備化手続きでは、その問題のために設計された特別なデータ構造をノードとしてもつ真偽維持システムにより、それらの重複が生じないように推論を管理することにより、この問題を解決し効率を改善している。

第6章では、本研究の結論及び今後の展望について述べている。

これを要するに、著者は、項書換えシステムに関する推論手続きについて、その効率化のため、真偽維持システムを用いた新たな推論システムの開発手法に関する新知見を得たものであり、情報システム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。