

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007～2009

課題番号：19500003

研究課題名 (和文) 定理自動証明に基づくプログラム変換システムの研究

研究課題名 (英文)

Research on program transformation systems based on automated theorem proving

研究代表者

外山 芳人 (TOYAMA YOSHIHITO)

東北大学・電気通信研究所・教授

研究者番号：00251968

研究成果の概要 (和文)：定理自動証明や計算モデルで広く利用されている項書き換えシステムの理論に基づいて、プログラム自動変換を実現するための基礎理論と実験システムを開発した。研究成果としては、プログラム変換のための変換パターン自動抽出アルゴリズムの提案と実験システムの構築、高階プログラムの新しい停止性証明法の提案、書き換え帰納法のための補題自動導入アルゴリズムの提案と実験システムの構築、分割統治法による項書き換えシステムの合流性自動判システムの開発を行った。

研究成果の概要 (英文)：The theory of term rewriting systems is widely used in the fields of automated theorem provings and computation models. This research aims to develop basic theories and prototypes for automated program transformation systems based on term rewriting theory. Concrete results include an automated construction method of program transformation templates, a new termination proof of higher-order programs, an automated lemma generation method for rewriting induction, an automated confluence prover of term rewriting systems.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	800,000	240,000	1,040,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・情報学基礎

キーワード：プログラム理論 プログラム変換

1. 研究開始当初の背景

関数型プログラムを対象としたプログラ

ム自動変換は近年活発に研究されている。関数型プログラムの変換は、書き換えシステム

の等価変換として数学的にモデル化できる。一方、定理自動証明の分野では、書き換えシステムに基づく定理証明手法が広く利用されている。これらの証明手法の特徴は、与えられた等式システムに対する生成・変換を繰り返すことにより、それと等価な書き換えシステムに変換する点にある。

プログラムの自動変換と書き換えシステムに基づく自動証明は、それぞれ異なる目的と背景をもって発展してきた技術である。しかし、関数型プログラムを書き換えシステムとしてモデル化すると、両者の基礎となる理論的枠組みには共通点が多い。

2. 研究の目的

本研究の目的は、プログラム自動変換手法と、書き換え帰納法に代表される定理自動証明手法に共通する理論的枠組みを明らかにし、両者の長を併せ持つ新しいプログラム変換手法を提案することである。我々の先行研究で蓄積されているプログラム変換技術と自動証明技術を有機的に一体化した証明・変換融合型実験システムを開発し、新しい原理に基づく発展的自動プログラミング手法の有効性を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究では、定理自動証明の手法である書き換え帰納法とプログラム変換の手法を理論的に解析し、両者に共通する理論的枠組みを明らかにするとともに、両者の特徴を併せ持つ新しい新しいプログラム変換手法を開発することである。

このため、研究は以下の3フェーズを部分的に並行して進め、理論と実験の両面から変換手法の有効性を検討する。

(1) 書き換えシステムに基づく統一的な理

論モデルの構築と解析

(2) 理論モデルに基づいた実験システムの設計と実装

(3) 実験システム上での実験と評価

なお、本研究を着実に進めるために、先行研究ですでに開発されているプログラム変換システム RAPT の理論的成果と基盤技術を有効に活用する。

4. 研究成果

(1) 変換パターンに基づくプログラム変換を多くのプログラム変換に適用するためには、変換パターンの蓄積が必要である。そこで、具体的なプログラム変換から、一般的な変換パターンを抽出する方法について検討を行い、2 階の一般化アルゴリズムを開発するとともに、その健全性を証明した。さらに、一般化アルゴリズムに基づき、変換パターン自動抽出システムを構築し、変換パターンの抽出実験を行い、いくつかの変換パターンの抽出に成功した。

(2) プログラム変換をより広いクラスに適用するため、高階プログラミング言語の計算モデルである S 式書き換えシステムを解析し、帰納的経路順序による計算の停止性を簡明に証明した。既知の停止性証明が余帰納法を用いた技巧的なものであるのに対して、本証明は通常の帰納法を用いた自然な証明となっており、高階なプログラムへの適用も容易である。

(3) プログラム変換の正当性検証時に必要な書き換え帰納法を強化するために、書き換え帰納法の高度化の研究を進めた。特に反証機能つきの書き換え帰納法に適した補題自動導入法について検討を行った。さらに、発散鑑定法を改良し、健全性を持つ発散鑑定法

を提案した。実験システムを実装するとともに証明システムのベンチマークとなる例題集を抽出し、他の書き換え帰納法に基づく定理証明器との比較実験を行った。

(4) プログラム変換の正当性検証や反証付き書き換え帰納法を利用するために必要な合流性を保障する方法について検討を進めた。停止性の検証器は多数提案されているのに対して、合流性の検証器の提案はあまりなされていないため、合流性の自動検証法について実験システムを構築し検討を行った。合流性の十分条件を満たさない項書き換えシステムについて分解手法を用いる判定法を利用することの検討を行い、分解手法を利用した合流性検証器の開発を行った。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 13 件)

1. Yuki Chiba, Takahito Aoto and Yoshihito Toyama, Program transformation templates for tupling based on term rewriting, IEICE Transactions on Information and Systems (査読有), Vol. E93-D, No. 5, 2010, pp. 963-973.

2. Takahito Aoto and Toshiyuki Yamada, Argument filterings and usable rules for simply typed dependency pairs, LNAI (査読有), Vol. 5749, 2009, pp. 117-132.

3. Takahito Aoto, Junichi Yoshida and Yoshihito Toyama, Proving confluence of term rewriting systems automatically, LNCS (査読有), Vol. 5595, 2009, pp. 93-102.

4. 吉田順一、青戸等人、外山芳人、項書き換えシステムの合流性自動判定、コンピュータソフトウェア (査読有)、Vol. 26, No. 2, 2009, pp. 76-92.

5. 寫津聡志、青戸等人、外山芳人、反証機能付き書き換え帰納法のための補題自動生成法、コンピュータソフトウェア (査読有)、Vol. 26, No. 2, 2009, pp. 41-55.

6. Jean-Pierre Jouannaud and Yoshihito Toyama, Modular Church-Rosser Modulo: The Complete Picture, International Journal of Software and Informatics (査読有), Vol. 2, No. 1, 2008, pp. 61-75.

7. Yoshihito Toyama, Termination proof of S-expression rewriting systems with recursive path relations, LNCS (査読有), Vol. 5117, 2008, pp. 381-391.

8. Takahito Aoto, Soundness of rewriting induction based on an abstract principle, IPSJ Transactions on Programming (査読有), Vol. 49, No. SIG 1 (PRO 35), 2008, pp. 28-38.

9. Yuki Chiba, Takahito Aoto and Yoshihito Toyama, Automatic construction of program transformation templates, IPSJ Transactions on Programming (査読有), Vol. 49, No. SIG 1 (PRO 35), 2008, pp. 14-27.

[学会発表] (計 17 件)

1. 外山芳人、帰納的経路関係に基づく S 式

書き換えシステムの停止性証明、日本ソフトウェア科学会第 24 回大会、3C-3、2007 年 9 月 13 日、奈良先端科学技術大学院大学.

2. 青戸等人、停止性検証器を利用した書き換え帰納法手続き、日本ソフトウェア科学会第 24 回大会、3C-2、2007 年 9 月 13 日、奈良先端科学技術大学院大学.

[その他]
ホームページ等

<http://www.nue.riec.tohoku.ac.jp/index-j.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

外山 芳人 (TOYAMA YOSHIHITO)
東北大学・電気通信研究所・教授
研究者番号：00251968

(2) 研究分担者

青戸 等人 (AOTO TAKAHITO)
東北大学・電気通信研究所・准教授
研究者番号：00293390

(3) 連携研究者

()

研究者番号：