

001.64
M114
(H10)

簡約戦略に関する研究

(研究課題番号 11680338)

平成11年度～12年度 科学研究費補助金
(基盤研究 (C)(2))
研究成果報告書

平成 13 年 3 月

寄	贈
ミ デ ル ド ー プ ア ー ト 氏	平 成 年 月 日

研究代表者 ミデルドープ アート
(筑波大学 電子・情報工学系 助教授)

01603066

平成11～12年度 科学研究費補助金 研究成果報告書

簡約戦略に関する研究

目次

はしがき	1
研究論文	5
Transforming Context-Sensitive Rewrite Systems	5
Eliminating Dummy Elimination	21
Equational Termination by Semantic Labelling	37
A Complete Selection Function for Lazy Conditional Narrowing	53
Logicity of Conditional Rewrite Systems	69

はしがき

研究目的

項書換え系は等式の集合のもとでの推論や簡約を行なうための理論体系であり、関数型および論理型のプログラミング言語や、定理自動証明等の基礎理論として盛んに研究が行われてきた。書換え系の簡約戦略は、関数型プログラミングにおける式評価、論理型プログラミングにおける求解、定理自動証明（等式推論）における推論をどのような手順で行なうか記述するために用いられる。このため、より効率的な簡約戦略を開発し、その性質を解明することは、プログラミング言語や定理証明系の基礎理論において重要な研究課題である。

本研究では、書換えやナローイング（書換えの拡張であり、等式の求解法として使われる）のための効率的な戦略に関する理論を構築することを目的とする。

研究成果

本研究プロジェクトの目標である、効率的な戦略に関する理論の構築に向けて、

- 文脈依存書換え系から標準的な項書換え系への変換法
- 依存対による変換法とダミー除去による変換法の比較
- 意味ラベリングに関する研究
- 最左等式選択戦略による遅延ナローイング計算系の完全性

にわたる広範な研究を展開した。研究成果の概要を、各項目ごとに以下に示す。

文脈依存書換え系から標準的な項書換え系への変換法 文脈依存書換えとは、Lucas により提案された、項書換えの拡張である。文脈依存書換えでは、関数記号のどの引数を評価すべきかを指定することができ、これにより、一種の簡約戦略を記述することが可能になる。本研究で主に取り組んだのは、停止性に関する変換手法に関する理論的考察である。特に、健全性をもつような変換、つまり、変換後の項書換え系の性質から、変換前の文脈依存書換え系の性質を保証できるような変換について、理論的性質を明らかにした。健全な変換を用いる利点は、既存の項書換え系の性質の証明手法が、そのまま、文脈依存書換えの性質の証明に利用できる点にある。

また、停止性証明のための2つの新しい変換法を開発した。第1の変換法は、これまでに知られていた変換法よりも強力であり、しかも簡潔な変換法である。第1の変換法は、健全性をもつが、完全性がない。つまり、停止性をもつ文脈依存書換え系を変換しても、変換により得られる項書換え系が停止性をもたない場合がある。これを改良して得られた第2の変換法は、健全性に加え、完全性をも満たす。この、完全性を満たす変換法の発見により、文脈依存書換えの停止性証明法を新たに開発する必要性がないことが、理論的に明らかになった。以上の2つの変換法の研究は、書換え理論とその応用に関する国際会議 RTA'99 において成果を公表した（pp. 5-20 の研究論文を参照）。

依存対による変換法とダミー除去による変換法の比較 書換え系の各種変換法の比較に関する研究を行なった。依存対を用いる停止性のための変換手法が、ダミー除去と呼ばれる停止性のための変換手法よりも強力であることを証明した。この結果により、依存対による変換の前処理としてダミー除去を行なう必要がないことが理論的に明らかになった。ダミー除去を中心とした変換法の比較に関する研究は、学術誌 *Acta Informatica* において成果を公表した (pp. 21-36 の研究論文を参照)。

意味ラベリングに関する研究 意味ラベリングは、項書換え系の停止性の証明法の一つである。Zantema は、意味ラベリングを等式付き書換えへ拡張しているが、この拡張は制限が強い。そこで、(1) 意味解釈を与える代数上の順序 (半順序または擬順序) (2) 代数と書換え系の関係 (モデルまたは準モデル) (3) 等式に現われる関数記号のラベル付け可能性 (禁止または許可) の 3 つをパラメタ化することにより、強力な意味ラベリングの手法を導入した。計算機科学と論理に関する国際会議 CSL'00 において発表した論文では、この新しい停止性証明手法が健全性と完全性をもつことを証明し、応用の可能性を示した (pp. 37-52 の研究論文を参照)。

最左等式選択戦略による遅延ナローイング計算系の完全性 我々が本研究に先立って発表した研究論文で、遅延ナローイング計算系 LCNC が、条件部に外変数をもつ条件付き書換え系において、正規解に関して完全性をもつことを証明した。しかし、この論文では、有用な選択関数を与えることができなかつたため、計算系を実装する際、全ての解を列挙するために、ゴール中の等式を選択する場所へのバックトラックが必要となった。本研究では、この問題を解消するため、最左の等式を選択する、という等式選択の戦略のもとで、求解完全性が保証されることを証明した。この研究成果は、関数および論理プログラミングに関する国際シンポジウム FLOPS'00 において発表を行なった (pp. 53-69 の研究論文を参照)。

本書は、これらの研究成果を取りまとめたものである。我々が得た研究成果の詳細は、本報告書の研究発表の項で挙げる論文を参照されたい。

研究組織

研究代表者	ミデルドーブ アート	(筑波大学 電子・情報工学系 助教授)
研究分担者	井田 哲雄	(筑波大学 電子・情報工学系 教授)
研究分担者	山田 俊行	(筑波大学 電子・情報工学系 助手)

研究経費

平成 11 年度	1,800 千円
平成 12 年度	1,600 千円
合計	3,400 千円

主要な研究発表

1. 学会誌

- (a) Aart Middeldorp and Hitoshi Ohsaki, *Type Introduction for Equational Rewriting*, Acta Informatica 36(12), pp. 1007–1029, 2000.
- (b) Toshiyuki Yamada, Juergen Avenhaus, Carlos Loria-Saenz, and Aart Middeldorp
Logicality of Conditional Rewrite Systems, Theoretical Computer Science 236(1,2), pp. 209–232, 2000.
- (c) Alfons Geser, Aart Middeldorp, Enno Ohlebusch, and Hans Zantema
Relative Undecidability in Term Rewriting, Part 1: The Termination Hierarchy, Information and Computation, 2001. Accepted for publication.

2. 国際シンポジウム, ワークショップ議事録

- (a) Jürgen Giesl and Aart Middeldorp
Transforming Context-Sensitive Rewrite Systems, Proceedings of the 10th International Conference on Rewriting Techniques and Applications, Lecture Notes in Computer Science 1631, pp. 271–285, 1999.
- (b) Mircea Marin, Tetsuo Ida, and Taro Suzuki
On reducing the Search Space of Higher-Order Lazy Narrowing, Proceedings of the 4th Fuji International Symposium on Functional and Logic Programming, pp. 319–334, 1999.
- (c) Jürgen Giesl and Aart Middeldorp
Eliminating Dummy Elimination, Proceedings of the 17th International Conference on Automated Deduction, Lecture Notes in Artificial Intelligence 1831, pp. 309–323, 2000.
- (d) Hitoshi Ohsaki, Aart Middeldorp, and Jürgen Giesl
Equational Termination by Semantic Labelling, Proceedings of the 14th Annual Conference of the European Association for Computer Science Logic, Lecture Notes in Computer Science 1862, pp. 457–471, 2000.
- (e) Taro Suzuki and Aart Middeldorp
A Complete Selection Function for Lazy Conditional Narrowing, Proceedings of the 5th International Symposium on Functional and Logic Programming Lecture Notes in Computer Science 2024, pp. 201–205, 2001.
- (f) Irène Durand and Aart Middeldorp
On the Modularity of Deciding Call-by-Need, Proceedings of the International Conference on the Foundations of Software Science and Computation Structures, Lecture Notes in Computer Science, 2001. Accepted for publication.

3. 図書

- (a) Aart Middeldorp and Taisuki Sato, *Functional and Logic Programming*, Springer, 368 pages, 1999.

筑波大学附属図書館



1 00016 03066 1

本学関係