



リダクションの近似に基づく プログラム検証手法の研究

課題番号 14580357

平成14年度～平成17年度 科学研究費補助金 (基盤研究 (C))
研究成果報告書

平成18年5月

研究代表者 外山 芳人
東北大学 電気通信研究所 教授

リダクションの近似に基づく プログラム検証手法の研究

課題番号 14580357

平成14年度～平成17年度 科学研究費補助金(基盤研究(C))
研究成果報告書

平成18年5月

研究代表者 外山 芳人
東北大学 電気通信研究所 教授

はしがき

ネットワーク社会の急激な発展にともない、ソフトウェアの信頼性向上や検証技術に対する社会的な要求は近年ますます高まっている。高信頼ソフトウェアの開発・検証技術の理論的基礎となるのは、プログラミング言語の形式的意味である。しかし、プログラムを厳密な形式的意味論に基づいて検証することは、理論的に計算不可能であったり、計算可能であっても計算量の組み合わせ的爆発から現実には実行できないことが多い。そこで、検証の論理的正当性を損なわない範囲でプログラムの形式的意味を近似する手法として、抽象解釈やモデルチェックキングなどが注目されている。

我々は、新しい検証支援技術の形式的な基礎を与える目的で、項書き換えシステムを基礎とした関数型プログラムの検証に関する研究を進めてきた。項書き換えシステムの重要な性質の多くは解析が困難であるため、リダクションの近似をもちいた解析が有効であると考えられる。たとえば、効率の良い計算メカニズムを実現するためのリダクション戦略は、さまざまなリダクションの近似に基づく正規戦略の解析がすでに試みられている。また、プログラム変換の多くが抽象化された変換パターンとして一般化できることから、プログラムによる計算過程をプログラムパターンによる抽象的なリダクションによって近似することによって、プログラム変換の一般的な性質を導くことも可能であると考えられる。

本研究では、リダクションの近似の考え方に基づいて、関数型プログラムのリダクション戦略やプログラム変換の等価性のモデルの研究を行ない、プログラム検証法に有効ないくつかの成果を得た。たとえば、項書き換えシステムの代表的な正規化戦略である必須リダクションの概念を拡張した外延リダクションを導入することにより、従来では困難であった重なりをもつ書き換えシステムの正規化戦略が実現できることを明らかにした。また、書き換えシステムを抽象化した書き換えパターンを解析することで、木準同型に基づいたプログラム変換の等価性が保証できることを明らかにした。

本報告書は、これらの平成14年度～平成17年度における文部省 科学研究費補助金基盤研究(C)「リダクションの近似に基づくプログラム検証手法の研究」の研究成果をまとめたものである。関係各位に御高覧いただき、御批判、御教授をたまわり、今後の研究の推進に資することができれば誠に幸いである。

平成18年5月

研究代表者
外山 芳人

研究組織

研究代表者： 外山芳人 東北大学電気通信研究所・教授

研究分担者： 青戸等人 東北大学電気通信研究所・助教授

研究分担者： 菊池健太郎 東北大学電気通信研究所・助手

交付決定額 (配分額)

(金額単位： 円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 14 年度	500,000	0	500,000
平成 15 年度	500,000	0	500,000
平成 16 年度	900,000	0	900,000
平成 17 年度	900,000	0	900,000
総計	2,800,000	0	2,800,000

研究成果

1. 学会誌等

1. Y. Toyama, Reduction strategies for left-linear term rewriting systems, *Processes, Terms and Cycles: Steps on the Road to Infinity, Essays Dedicated to Jan Willem Klop, on the Occasion of His 60th Birthday, Lecture Notes in Computer Science 3838* (2005) 198-223.
2. 千葉勇輝, 青戸等人, 外山芳人, パターンに基づくプログラム変換における列変数の導入, FIT2005, 情報技術レターズ, Vol. 4 (2005) 5-8.
3. Y. Chiba, T. Aoto and Y. Toyama, Program transformation by templates based on term rewriting, *Proc. of the 7th ACM-SIGPLAN International Conference on Principles and Practice of Declarative Programming (PPDP 2005)* (2005) 59-69.
4. Y. Toyama, Confluent Term Rewriting Systems (Invited Talk), *In Proc. of the 16th International Conference on Rewriting Techniques and Applications (RTA 2005), Lecture Notes in Computer Science 3467* (2005) p.1.
5. Y. Toyama, Termination of S-Expression Rewriting Systems: Lexicographic Path Ordering for Higher-Order Terms, *Proc. of the 15th International Conference on Rewriting Techniques and Applications, Lecture Notes in Comput. Sci. 3091* (Springer-Verlag, 2004) 40-54.
6. T. Aoto, T. Yamada, and Y. Toyama, Inductive Theorems for Higher-Order Rewriting, *Proc. of the 15th International Conference on Rewriting Techniques and Applications, Lecture Notes in Comput. Sci. 3091* (Springer-Verlag, 2004) 269-284.
7. 青戸等人, 山田俊行, 外山芳人, 高階関数型プログラムにおける帰納的定理証明, FIT2003, 情報技術レターズ, Vol. 2 (2003) 21-22.
8. T. Nagaya and Y. Toyama, Decidability for left-linear growing term rewriting systems, *Information and Computation Vol. 178* (2002) 499-514.

2. 口頭発表

1. 千葉勇輝, 青戸等人, 外山芳人, パターンに基づくプログラム変換システム, 日本ソフトウェア科学会第22回大会, 3A-1, 2005.
2. 落合秀幸, 青戸等人, 外山芳人, 修正AC単調意味論経路順序によるAC停止性, 信学技報 COMP2004-76 (2005-03) 23-32.

3. Y. Toyama, Termination of S-Expression Rewriting Systems: Lexicographic Path Ordering for Higher-Order Terms, 第6回プログラミングおよびプログラミング言語ワークショップ論文集 (PPL2005) (2005-03) p.17.
4. 坂本邦彦, 青戸等人, 外山芳人, 書き換え帰納法に基づくプログラム融合変換, 日本ソフトウェア科学会第21回大会, 2B-3, 2004.
5. 千葉勇輝, 青戸等人, 外山芳人, 木準同型写像を用いた項パターンマッチング, 第49回プログラミング研究会 (PRO-2004-1), 2004.
6. 秋谷賢司, 青戸等人, 外山芳人, 優先順序付き書き換えの計算モデル, 信学技報 COMP2003-85 (2004-03) 31-38.
7. 千葉勇輝, 青戸等人, 外山芳人, プログラム変換のための項書き換え系照合アルゴリズム, 第6回プログラミングおよびプログラミング言語ワークショップ論文集 (PPL2004) (2004-03) p.91.
8. 坂本邦彦, 青戸等人, 外山芳人, 書き換え帰納法によるプログラム融合変換, 第6回プログラミングおよびプログラミング言語ワークショップ論文集 (PPL2004) (2004-03) p.91.
9. 落合秀幸, 青戸等人, 外山芳人, AC単調意味論経路順序に関する反例, 第6回プログラミングおよびプログラミング言語ワークショップ論文集 (PPL2004) (2004-03) p.91.
10. Y. Toyama, Decision procedure for inductive theorems by rewriting induction, *Proc. of the 36th MLG meeting* (2003-12) 36-37.
11. 千葉勇輝, 草刈圭一朗, 外山芳人, 高階書き換え系に基づく完備化手続き, 電気関係学会東北支部連合大会予稿集 (2003-08) 1G-2, p.226.
12. 秋谷賢司, 青戸等人, 外山芳人, 補代入を用いた書き換えシステムの等価変換, 電気関係学会東北支部連合大会予稿集 (2003-08) 1G-3, p.227.
13. 本多洋平, 青戸等人, 外山芳人, 完備化手続きにおける関数記号の自動導入機構, 電気関係学会東北支部連合大会予稿集 (2003-08) 1G-4, p.228.
14. 落合秀幸, 青戸等人, 外山芳人, AC-完備化手続きに基づくプログラム融合変換, 電気関係学会東北支部連合大会予稿集 (2003-08) 1G-5, p.229.
15. 外山芳人, S式書き換えシステムの停止性, LAシンポジウム予稿集 (2003-07) 22.1-22.2.
16. 鶴川敏孝, 草刈圭一朗, 外山芳人, 変換パターンに基づく高階プログラム変換, 信学技報 COMP2002-83 (2003-03) 61-68.

17. 伊藤 芳浩, 草刈 圭一朗, 外山 芳人, 完備化手続きによるプログラム融合変換の停止条件, 信学技報 COMP2002-84 (2003-03) 69-76.
18. Y. Toyama, Decision procedure for inductive theorems by rewriting induction, *Technical Report of IEICE COMP2002-45* (2002-11) 41-45.
19. 外山 芳人, 書き換え帰納法による帰納的定理の決定手続き, 日本ソフトウェア科学会第19回大会論文集 (2002-9) 3A-2.
20. 鶴川 敏孝, 草刈 圭一朗, 外山 芳人, 変換パターンに基づく高階プログラム変換, 電気関係学会東北支部連合大会予稿集 (2002-8) p.141.
21. 伊藤 芳浩, 草刈 圭一朗, 外山 芳人, 完備化手続きによるプログラム融合変換の停止条件, 電気関係学会東北支部連合大会予稿集 (2002-8) p.140.
22. 秋谷 賢司, 草刈 圭一朗, 外山 芳人, 項書き換え系的高速実行と柔軟実行の融合, 電気関係学会東北支部連合大会予稿集 (2002-8) p.139.

目次

1	Reduction strategies for left-linear term rewriting systems	1
2	パターンに基づくプログラム変換における列変数の導入	34
3	Program transformation by templates based on term rewriting	38
4	Termination of S-Expression Rewriting Systems	52
5	Inductive Theorems for Higher-Order Rewriting	67
6	高階関数型プログラムにおける帰納的定理証明	83
7	Decidability for left-linear growing term rewriting systems	85

本報告書収録の学術雑誌等発表論文は本ファイルに登録していません。なお、このうち東北大学在籍の研究者の論文で、かつ、出版社等から著作権の許諾が得られた論文は、個別に **TOUR** に登録しております。