

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 17 日現在

機関番号：11301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2010～2011

課題番号：22800003

研究課題名（和文） プログラムの形式文法に基づく双方向化の研究

研究課題名（英文） Grammar-based Approach to Program Bidirectionalization

研究代表者

松田 一孝 (MATSUDA KAZUTAKA)

東北大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：10583627

研究成果の概要（和文）：

双方向変換は、様々な応用を持つため有用であるが、双方向変換を手で書くのは手間が掛かりやすい。この問題に対するアプローチの一つが双方向化であり、通常の変換プログラムから双方向変換の導出を行う。本研究成果として、形式文法の知見を応用し新たな双方向化の基盤技術を得た。本技術を利用することにより、多くの XML 変換についてその出力が与えられたときに対応する全入力を多項式時間で求めることができるようになる。

研究成果の概要（英文）：

Bidirectional transformations, while they have wide-ranged applications, are hard to develop because we have to maintain programs in both directions. An approach to the problem is bidirectionalization, a program transformation that constructs a bidirectional transformation from a given usual unidirectional transformation. Making use of the techniques from the formal language theory, we have developed a new fundamental technique for bidirectionalization, which enables us to enumerate all the corresponding inputs of a given output for many tree (e.g., XML) transformations in polynomial time.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,010,000	303,000	1,313,000
2011 年度	850,000	255,000	1,105,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,860,000	558,000	2,418,000

研究分野：プログラム変換

科研費の分科・細目：情報学・ソフトウェア

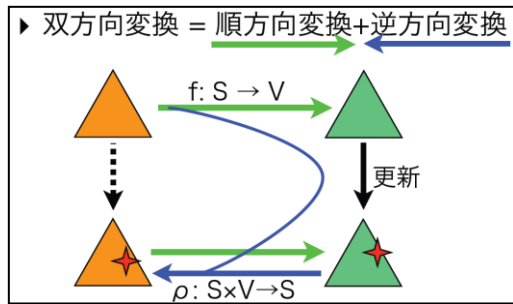
キーワード：プログラミング言語、プログラム変換、関数プログラミング、双方向変換、逆計算

1. 研究開始当初の背景

双方向変換は、あるデータを別のデータへと変換する順方向変換と、変換されたデータに対する更新を元のデータへと書き戻しを行う逆方向変換の二つの変換から構成される。

双方向変換は、たとえばデータベースのビュー更新、プレゼンテーション指向文書開発、XML 相互変換、モデル駆動ソフトウェア開発など様々な応用を持つため重要である。そのため、古くはデータベース分野で、近年で

はプログラミング言語およびソフトウェア工学分野でさかんに研究されている。



しかし、双方向変換プログラムを手で書くのは難しい。その理由の一つは、順方向変換と逆方向変換は対応して動作する必要があるため、二つの変換を別個にプログラムしたのでは、手間でありまた対応を壊すという誤りを起こしやすいためである。

そのため、双方向変換を構成するために、これまで様々なアプローチが提案されてきた。しかしながら、どのようにすれば少ない手間で、より効率的な双方向変換を構成できるかは依然未解決の問題であり、確立された方法が存在しない。

2. 研究の目的

双方向変換を構成するための手法の一つにプログラムの双方向化がある。プログラムの双方向化は、順方向変換のプログラムから、逆方向変換のプログラムを導出する。双方向化の利点として、プログラマが記述するのが一つのプログラムでよくなること、導出された逆方向変換が順方向変換と合わせて双方向に動作することが数学的に保証されていること、が挙げられる。これらにより、双方向変換プログラムを構成するコストの削減が期待され、またそれにより双方向変換を利用したソフトウェアの生産性・信頼性の向上が期待される。

本研究は、形式文法の知見を利用し、より強力な双方向化手法の提案および数学的基礎の整備を目的とする。形式文法の知見を利用することにより、プログラムのより大域的な情報が利用可能となり、より強力な双方向化手法が得られると期待できる。

3. 研究の方法

研究代表者は、先行研究として、形式文法を利用した逆計算手法を提案している

(Kazutaka Matsuda, Shin-Cheng Mu, Zhejiang Hu, and Masato Takeichi: A Grammar-Based Approach to Invertible Programs, ESOP 2010, pages 448–467). 提案手法は、双方向化の基盤技術となりうるもの

の、適応可能なプログラムは非常に限定されたものである。この手法をベースとし、拡張することにより研究を進めていく。

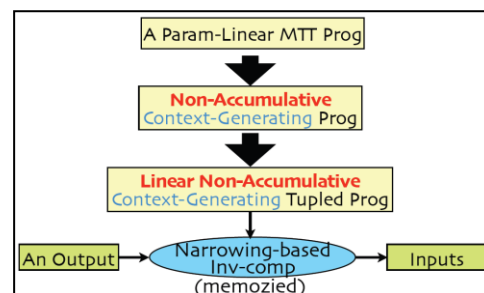
4. 研究成果

本研究プロジェクトの結果、主な成果は次の二つである。

(1) 形式文法の知見を活かし、これまでよりも広範なプログラムに適用可能な多項式時間逆計算手法を得た。本研究成果は、双方向化の基盤技術の一つとなりうるものである。

逆計算は双方向化の問題の一つであり、「プログラムとその出力が与えられた場合に、対応する入力を（全て）求める」という問題である。限定されているものの、逆計算自身、直列化/非直列化処理の構成、ロールバックやアンドゥ機構の実現、テスト実行におけるテストケース生成など様々な応用を持つ。また、逆計算を双方向変換の構成に利用することも可能である。これまでも様々な逆計算のアプローチが提案されてきたものの、累積的計算を行う関数やデータを複数回走査する関数を含むプログラムに対し、系統的かつ現実的な計算量の逆計算手法を知られていなかった。

本研究は、累積変数線形マクロ木変換木で表現される関数プログラムを対象とした、多項式時間逆計算手法を提案した。提案手法の対象とするプログラムは、制限されていながらも「累積的計算を行う関数」や「データを複数回走査する関数」などのこれまで扱いの難しかったプログラムを含む。また、多くの XML 変換が対象プログラムで記述できると知られている。



提案手法の鍵となるアイデアは、マクロ木変換木で表現される関数プログラムは、線形な非累積的文脈変換プログラム、すなわち「累積的計算を行う関数」や「データを複数回走査する関数」のないプログラム、としても表現が可能であるという点である。本研究では、プログラムを線形な非累積的文脈変換プログラムに変換し、その後メモ化した既存の逆計算手法を適用することで、対象のプログラムの逆計算が元プログラムの出力サイズに

対し、多項式時間で行えることを示した。

本研究の影響の一つとして、値域の推定に基づく逆計算/双方向化手法の適用可能性の向上がある。これまで、式の値域の推定に基づく逆計算手法はいくつか提案されており、またその情報は双方向変換の構成においても重要な役割を果たすことが知られていた。しかし、これまで累積的な計算を行うプログラムに対しては、そのような式の値域の推定に基づく逆計算手法は有効でないと考えられていた。本研究が行ったように、マクロ木変換木を、線形な非累積的文脈変換プログラムに変換することで、一部の累積的な計算を行うプログラムに対し、これまで議論されてきた値域の推定に基づく逆計算/双方向化手法が適用可能となることが期待される。

研究代表者は、本研究の成果をプログラム変換についての専門的な国際会議である PEPM 2012: ACM SIGPLAN 2012 Workshop on Partial Evaluation and Program Manipulation で論文とともに発表した。また、その論文は PEPM 2012 の Best Paper Award を受賞した。

(2) UnCAL で記述されたグラフ変換プログラムの最適化手法の提案をした。本研究成果は、双方向化手法をこれからグラフ変換プログラムに適用する際、有用であることが期待されるものである。

本研究は、UnCAL においてグラフを構成するのに使用する「マーカ」の解析に基づくプログラム最適化手法を提案している。これまでも UnCAL プログラムの最適化手法は知られていたが、本研究では「マーカ」に基づくプログラムの解析のより、より強力な最適化を実現している。本研究では、いくつかの例について、本最適化がプログラムの実行速度の改善に有用であったことを確認している。また、UnCAL の逆方向変換として意味は与えられているが、提案の最適化手法は、逆方向変換としての実行速度の改善に有用であったことをいくつか例を通して確認している。

研究代表者は、本研究に対し、共に提案内容について議論をし、テクニカルな内容の洗練や論文のプレゼンテーションの向上に貢献した。

研究代表者が本研究プロジェクトの成果(1)で提案した手法も含め、これまで知られている形式文法を利用した双方向化は関数呼び出しのネストを含むプログラムを苦手としている。提案の最適化手法は、一部の関数呼び出しを削減することが可能であり、形式文法に基づく双方向化手法の適用可能性の向上

が期待できる。グラフ変換プログラムに対しては、研究代表者の知る限り形式文法に基づく双方向化手法は知られてはいるが、提案手法は、今後そのような手法が提案された際の重要度を向上させるものである。

本研究の成果は、国際会議 LOPSTR 2011: 21st International Symposium on Logic-Based Program Synthesis and Transformation で論文とともに発表された。また、この論文はこの会議の発表を選抜した論文集に採録が決定している。

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 2 件)

- [1] Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Kazuhiro Inaba, Hiroyuki Kato, Kazutaka Matsuda, Keisuke Nakano, and Isao Sasano: Marker-directed Optimization of UnCAL Graph Transformations, LOPSTR 2011: 21st International Symposium on Logic-Based Program Synthesis and Transformation, Revised Papers, 2012. 査読有り, 採録決定済み
- [2] Kazutaka Matsuda, Kazuhiro Inaba, and Keisuke Nakano: Polynomial-Time Inverse Computation for Accumulative Functions with Multiple Data Traversals, PEPM 2012: ACM SIGPLAN 2012 Workshop on Partial Evaluation and Program Manipulation, 2012. pages 5-14. 査読有り

〔学会発表〕(計 4 件)

- [1] 松田 一孝: Polynomial-Time Inverse Computation for Accumulative Functions with Multiple Data Traversals, 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, 2012 年 3 月 10 日, 和歌山県西牟婁郡.
- [2] Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Kazuhiro Inaba, Hiroyuki Kato, Kazutaka Matsuda, Keisuke Nakano, and Isao Sasano: Marker-directed Optimization of UnCAL Graph Transformations, LOPSTR 2011: 21st International Symposium on Logic-Based Program Synthesis and Transformation, July 19, 2011. Odense, Denmark.
- [3] Kazutaka Matsuda: Right Inverses in Bidirectionalization, Dagstuhl Seminar - Bidirectional

Transformations "bx", Jan. 20, 2011,
Dagstuhl, German.

- [4] Kazutaka Matsuda: A Short Review: Left
Inverses vs. Right Inverses, 4th
DIKU-IST Workshop, Jan. 11, 2011.
Tokyo, Japan.

[その他]

ホームページ等

<http://www-kb.is.s.u-tokyo.ac.jp/~kztk/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松田 一孝 (MATSUDA KAZUTAKA)

東北大学・情報科学研究科・助教

研究者番号 : 10583627