

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700020

研究課題名(和文) 一対一でない相互変換のためのプログラム逆計算

研究課題名(英文) Program Inversion for m-to-1 Mutual Conversion

研究代表者

松田 一孝 (Matsuda, Kazutaka)

東京大学・情報理工学(系)研究科・助教

研究者番号：10583627

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：プログラム逆計算は、プログラムが与えられたときに、そのプログラムの出力から対応する入力を計算するプログラムを求める。本プロジェクトの目的は、プログラム逆計算による多対一の関係にある相互変換プログラムの構成である。本プロジェクトの主な成果は次の二つである。一つ目は、整形出力プログラムを入力とし、構文解析プログラムを出力するシステムの作成である。二つ目は、双方向変換 通常の変換と、変換後のデータに対する変更を元データに書き戻す逆方向変換の組 を通常の一方方向の変換プログラムから構成する free theorem に基づく手法を、より実用的な変換が扱えるように拡張したことである。

研究成果の概要(英文)：Given a program, program inversion computes another program that takes an output of the given program and returns its corresponding output. The goal of this research project is to study program inversion methods to derive mutual conversion programs whose input/output relationship is m-to-1. The main results of this project are the following two. First, we have developed a system that takes a pretty-printing program and returns the corresponding parsing program. Second, we have extended an existing free-theorem-based method to construct a bidirectional transformation from a unidirectional transformation so that more practical transformations can be handled; here, a bidirectional transformation is a transformation together with a "backward" transformation that reflects updates on the transformed data to the original.

研究分野：プログラム変換

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 プログラム逆計算

### 1. 研究開始当初の背景

プログラム逆計算は、プログラムが与えられたときに、そのプログラムの出力から対応する入力を計算する逆プログラムを求める計算である。たとえば、プログラム逆計算は、圧縮プログラムから、圧縮データから対応する元データを計算するプログラム、すなわち展開プログラムを計算する。この他にもプログラム逆計算は、直列化処理からの復元処理の構成や、アンドゥ・リドゥ機能の実現、整形出力器と構文解析器の実装などの様々な応用を持つ。これらの相互変換プログラムを別個に実装するのは煩雑であり、また一方が他方の「逆」になっていないというバグが入りやすい。

これまでのプログラム逆計算の研究は主に、入力と出力が一对一の関係にある相互変換プログラム、つまりお互いが逆関数の関係にあるプログラムを扱っていた。しかしながら、多くの相互変換は一对一ではなく多対一の関係にある。たとえば、抽象構文木を整形し文字列にする整形出力プログラムとプログラム文字列から抽象構文木を得る構文解析プログラムの例では、ある抽象構文木に対応するプログラム文字列は一般に複数あり、多対一の関係にある。プログラム逆計算の応用可能性を高める上で、多対一の関係にある相互変換プログラムの導出が扱えるようにプログラム逆計算を拡張することは重要な課題である。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、多対一の相互変換プログラムの導出を扱えるように、プログラム逆計算の理論・技術を拡張することである。

多対一のプログラムでは、一方のプログラムのみからもう一方のプログラムを導出することはできない。たとえば、整形出力器と構文解析器のプログラム例だと、整形出力器のみでは構文解析器が受けとれるべき入力の集合がわからず、また構文解析器のみでは整形出力器の返すべき「整形」の情報が不足する。そのため付加情報を記述する必要があり、その方法を明らかにすることを目指す。また、そういった付加情報の記述方法を定めた後も効率のよい逆プログラムを導出する手法についても議論する。

### 3. 研究の方法

本研究プロジェクトでは、まずケーススタディを行い、その後一般的な枠組みについても議論することを当初の計画とした。

ケーススタディとして最初に取り組んだのは、整形出力器と構文解析器のプログラムの構成問題である。この問題を選んだ理由は、問題自体の重要度に加え、形式文法等の研究代表者らの知見が活かしやすいと考えたた

めである。

後述するように、本問題に対しては、整形出力器に対し付加情報の記述方法を与え、そこから効率のよい構文解析器を導出することに成功した。その後、本ケーススタディを進めるうちに、研究代表者らは双方向変換の技術が重要であることに気付いた。

双方向変換も多対一の相互変換プログラムの一つであり、通常の順方向の変換と、変換後のデータに対する変更を元のデータへと書き戻す逆方向の変換の二つの変換から構成され、二つの異なった形式のデータの同期等に利用される。双方向変換の構文解析/整形出力器があれば、抽象構文木に対する変更を(改行などの整形情報やコメント等を含んだ)ソースコードに対し反映することができるようになり、たとえば自動リファクタリングを簡潔に実装することができるようになる。

しかしながら、現状の双方向変換構成技術は構文解析器や整形出力器を扱うほどには至っておらず、そのための第一歩として既存の双方向変換構成技法の拡張に取り組んだ。これが本プロジェクトの二つめの成果となる。

### 4. 研究成果

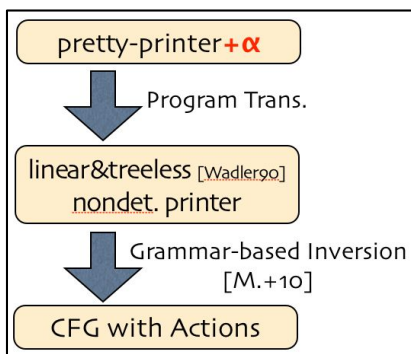
本研究プロジェクトの主な成果は以下の二つである。

- (1) 整形出力器から構文解析器を出力するシステム FliPpr の設計・実装

プログラミング言語の処理系を実装する再、構文解析器に加えて整形出力器を実装することはよくある。後者の重要性はしばしば見過されることがあるが、抽象構文木の整形出力はエラーメッセージの表示等、コンパイラの出力を使用者が理解するのに役立ち、生産性の向上に繋がるものである。構文解析器と整形出力器は整合性のとれたものでなければならぬ。つまり、整形出力器の全ての出力は、構文解析器によって正しく構文解析され、もとの抽象構文木が得られなければならない。しかしながら、たとえば言語の構文が変化するたびに、構文解析器と整形出力器を別個に変更するのは煩雑で、整合性を崩すというバグが入りやすい。

研究代表者らはこの問題を解決するために、整形出力器から構文解析を出力するシステム FliPpr を作成した。構文解析器から整形出力器を生成するのではなく、整形出力器を入力とするのは、整形出力器の出力の質は主観的なものであり、だからこそプログラマが整形出力を制御できることが重要だと考えたためである。

より具体的には, FliPpr の入力整形出力コンビネータを用いて記述された制限された関数プログラムである. この際に必ずしも整形されていない出力の情報も構文解析生成のために記述する必要がある. 整形出力コンビネータは元々整形出力の文字列の候補から最適なものを選ぶというものであったため, 付加情報は既存の整形出力コンビネータを大きな変更することがなく実現できた. 入力渡されると, FliPpr はいくつかのプログラム変換を適用し, 最終的に文脈自由文法と意味規則で表現された構文解析器プログラムを出力する. 出力される構文解析器は標準的なものであるため, 既存の効率のよいアルゴリズムが利用可能である. このことは本システムの利点の一つである.



本研究の成果はプログラミング言語理論分野の重要な国際会議の一つである European Symposium on Programming で論文とともに発表された.

- (2) 一方向のプログラムから双方向変換プログラムを導出するための新たなプログラム変換手法の提案

前述の通り, 双方向変換は, 二つの異なった形式のデータの同期を行うための変換の組であり, 通常の順方向の変換と, 変換後のデータに対する変更を元のデータへと書き戻すための逆方向の変換の二つからなる. 双方向変換は, 前述の異なる形式のデータの相互変換や, データベースのビュー更新, GUI ソフトウェアの作成, Web フォーム作成やモデル駆動開発におけるモデル変換・同期に応用を持つ. しかしながら, 順方向変換と逆方向変換はある種の整合性を満たす必要があり, 両者のプログラムを別個に開発するのは煩雑であり, 整合性を崩してしまいやすいという問題があった.

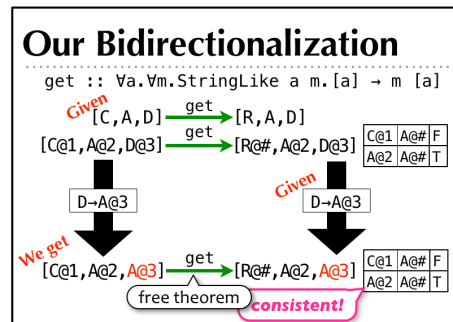
Voigtländer はこの問題に対し, semantic bidirectionalization という手法を提案した. この手法は特定の型を持つ順方向変換プログラムを入力に取り, (与えられた順方向変換プログラムに対し整合性を満たすような)逆方向変換プログラムを出力する. この

手法の利点は free theorem というプログラムの型のみから示せる性質を利用しているため, 特定の(多相的な)型さえ持てば任意の順方向変換プログラムを扱えることである. しかしながら, free theorem を利用するために入力のプログラムは多相的な型を持たなければならない, XML 変換やグラフ変換等の実用的な変換---これらは単相的な変換である---に適用できないという問題点があった.

研究代表者らは, この問題を解決し, semantic bidirectionalization を XML 変換やグラフ変換等の単相的な変換に適用することを可能とした. 提案手法も free theorem に基づくため, 特定の型を持ちさえすれば任意の順方向変換プログラムを扱うことができる. 本手法のアイデアは, 型クラスを用いることにより, ある型に対する演算を抽象化することで単相的な変換を多相的な関数プログラムとして表現することである.

本研究の成果は宣言的プログラミングに関する国際会議 Principles and Practice of Declarative Language において論文とともに発表された. また, その成果をさらに発展させた内容が, 国際論文誌 Science of Computer Programming に掲載されることが決定している.

研究代表者は本研究のアイデアを実装したシステムを Haskell のライブラリ bff-mono として公開している.



### 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 3 件)

- [1] Kazutaka Matsuda, and Meng Wang: "Bidirectionalization for Free" for Monomorphic Transformations, Science of Computer Programming. 査読有. 巻号発行年未定. 印刷中. DOI: 10.1016/j.scico.2014.07.008.
- [2] Kazutaka Matsuda, and Meng Wang: Bidirectionalization for Free with Runtime Recording: or, a Light-Weight Approach to the View-Update Problem. Proceedings of

the 15<sup>th</sup> Symposium on Principles and Practice of Declarative Programming.  
査読有 . 2013. 297-308.  
DOI: 10.1145/2505879.2505888

- [3] Kazutaka Matsuda, and Meng Wang: FliPpr: A Prettier Invertible Printing System. Programming Language and Systems---22nd European Symposium on Programming. 査読有 . 2013. 101-120.  
DOI: 10.1007/978-3-642-37036-6\_6

〔学会発表〕(計 3 件)

- [1] 松田一孝, and Meng Wang: A Type Class for Bidirectionalization: Or, a Light-Weight Approach to the View Update Problem. 日本ソフトウェア科学会第 30 回大会 . 東京大学(東京都文京区) . 2013 年 9 月 12 日 .
- [2] Kazutaka Matsuda: Relating a Data Structure and Its Text Representation: A Case Study of Pretty-Printing and Parsing. BIRS Workshop: Bi-directional transformations (BX) --- Theory and Applications Across Disciplines (13w5115). Banff International Research Station (Banff, Canada). 2013 年 12 月 05 日 .
- [3] Kazutaka Matsuda: Polynomial-Time Inverse Computation for Accumulative Functions with Multiple Data Traversals. 1<sup>st</sup> International Workshop on Trends in Tree Automata and Tree Transducers. 名古屋大学(名古屋, 愛知) . 2012 年 6 月 2 日 .

〔その他〕

研究代表者ホームページ

<http://www2.sf.ecei.tohoku.ac.jp/~kztk/>

FliPpr システムのページ

<https://bitbucket.org/kztk/flipprr>

bff-mono ライブラリ

<https://hackage.haskell.org/package/bff-mono>

## 6 . 研究組織

(1)研究代表者

松田 一孝 (MATSUDA, Kazutaka)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教

研究者番号 : 10583627