

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：62615

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23700047

研究課題名(和文)関数型双方向グラフ変換言語に関する研究

研究課題名(英文)A study on functional bidirectional graph transformation languages

研究代表者

日高 宗一郎(Hidaka, Soichiro)

国立情報学研究所・アーキテクチャ科学研究系・助教

研究者番号：70321578

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円、(間接経費) 810,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、モデル駆動工学におけるモデル変換などで、変換を越えて更新を双方向に伝搬させる重要な役割が期待されるグラフの双方向変換に対する、正規木上の構造再帰に基づくアプローチを発展させるものである。これまで考慮されなかった各ノードの枝間の順序については、順変換について導入し、記述能力も向上させ、計算への埋め込みとしてプロトタイプを実装した。性能面では、プログラム変換が正規形へ持ち込める条件、中間データを削除出来る条件を明確にした。応用面では合成生物学におけるモデルの共同開発事例への適用等を行った。

研究成果の概要(英文)：Bidirectional graph transformation has been considered to be a promising approach to propagating modifications bidirectionally over transformations that are used as model transformations in model-driven engineering. We have strengthened our previous approach based on structural recursions on regular trees.

We have introduced orders between outgoing edges of nodes, which, as far as we know, had not been realized so far. We have successfully introduced the order for forward transformations, extended the expressive power, and implemented a prototype by embedding into lambda calculi. As for the performance issue, we have clarified the cases in which we can normalize the transformation and eliminate intermediate results. Applications we have investigated include collaborative development of models in systems biology.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・ソフトウェア

キーワード：プログラム言語論 プログラミングパラダイム プログラム処理系 双方向グラフ変換 関数型言語
順序つきグラフ

1. 研究開始当初の背景

情報処理における問い合わせ処理などは、変換元(データベース)から変換先(ビュー)への変換と捉えられる。こうした変換は必要部分の抽出や整形を伴うため、データの更新は変換先で行う方が容易であるが、更新を変換元へ伝播させる方法は自明ではない。双方向変換は、この伝播を担う重要な技術であり、データベースの他分散データ、文書間の相互同期の文脈などでも研究されているが、本研究ではグラフの双方向変換を対象とする。グラフは、様々な実体の間の関連を直接表現できるなど汎用性が高い反面、合流や循環を含むため扱いが困難である。研究代表者等は、関数プログラミングのアプローチに基づき、その利点(副作用がなく合成に基づくシンプルなセマンティクスを持つこと)を生かして、既存のグラフ問い合わせ言語 UnQL に双方向の意味を付与することで、既存の方式と比して双方向変換に適した性質を保った大きな双方向変換の合成に適しているという特色を持つ言語の開発に成功した。しかしそのなかで、変換処理速度、双方向変換として満たすべき性質、記述能力、受容する更新の種類について、強化の余地があり、更に順変換に対してプログラム解析手法を適用することで、逆変換の更新の影響範囲が見積もれる等、有用な情報の抽出が見込まれることが明らかになってきた。ユーザインターフェースに関しても、その向上は事例検証の効率化をもたらす、研究そのものを加速する相乗的な効果をもたらすことが期待される。

2. 研究の目的

本研究では、研究代表者等が提案してきたグラフ双方向変換の枠組の理論、実装面に関して上記の強化を行い、応用範囲を拡大するために、(1) 関数型双方向変換言語の言語仕様、意味、双方向記述能力、(2) 双方向変換プログラムの静的、実行時解析、(3) 言語処理系の実装、最適化(性能、利便性の向上)、評価の三つの課題に取り組み、グラフ双方向変換に適した言語のあるべき姿、その言語でどのような解析と最適化等のための情報が抽出可能か、また実装でどのような性能、利便性の向上が得られるかを明らかにする。

ソフトウェア工学への応用も期待され、特にモデル駆動ソフトウェア開発は本研究の最も期待される新しい応用のひとつである。設計から実際に動作する命令列への具体化の過程では様々な中間生成物が生じるが、最終生成物がそのまま製品化されることは稀であり、テスト中に見つかるバグ等の修正が設計の上流過程にうまく反映できることが切望されている。グラフは中間生成物(=モデル)の表現に適しており、このような逆方向への更新の伝播を担う技術の基盤となる。本研究はこのようなソフトウェア開発工程の高度化にも寄与し、社会基盤を担うソフトウェアの開発を支える重要な役割が期待される。

る。

3. 研究の方法

本研究は以下の三つの柱を中心に進めた。

(1) 言語仕様、意味、双方向記述能力
双方向計算に於いて、その記述言語の仕様により、順変換および逆変換の能力が決定される。研究代表者のグラフ問い合わせ言語ベースの双方向変換言語について、その記述能力やデータモデル等の設計レベルでの強化を図った。

(2) 静的、実行時解析

一般のプログラミング言語同様、双方向計算用言語にも様々な静的動的解析の機会がある。これ等の解析で可能となる最適化やその他のユーザにもたらされる付加価値(影響範囲解析、変換先の更新可能性の明確化等)を明らかにした。

(3) 実装、最適化(性能、利便性の向上)、評価

グラフ編集インタフェース等の実装の強化の他、トレース情報の削減、順変換の融合変換、dead-code(不達コード)解析による最適化等に取り組んだ。

4. 研究成果

変換の記述能力向上に関して、既存の単方向だが記述能力の高いモデル変換言語との相補的な統合に向けた道筋についても明らかにした(学会発表[9])。

これまで考慮されなかった各ノードの枝間の順序については、順序なしグラフ上の head/tail のようなエンコーディングでは、双模倣保存性と、標準的な ϵ 除去法が両立しないため不十分であることが分かった。データモデルへの順序の直接導入の影響も明確にした。そのひとつは、循環をつくる ϵ 枝に非 ϵ 枝が出ている場合、その ϵ の除去に伴い、非 ϵ 枝が無限に複製され無限幅の枝を生じることであるが、それは順序自体でなく、集合意味論を持つ結び (union) 演算の冪等性を失うためである。冪等性の下では複製が縮退していたため問題が表面化しなかった。このためもあり新しい双模倣の定義が必要になった。具体的なプログラミング例を検討し、記述能力の強化を行った。特に、枝間への順序導入に固有の問題点がユーザレベルにどう影響するかについて、select query で必然的に生じる ϵ 枝の循環や bisimulation genericity との関係なども明らかにしている(学会発表[4])。順変換の実装面では、 λ 計算への埋め込みとして構造再帰の部分を含め、独立したインタープリタを実装した(ホームページ等[1])。型注釈構文の強化を行うことでプログラミングを容易にしている。グラフ編集ツールも、既存ツールを枝の順序を任意に入れ替えられるよう拡張することで実現した。

双方向変換は国際会議に投稿したが、ラウンドトリップ性の保証に一部事後チェック

を必要とすること等が問題で採択に至らず、引き続き改良中である。

従来 of set semantics を含めた一般化による順序あり、なしのグラフの統一的取扱いについても共著者を中心に PDP' 13 で報告している (学会発表 [5])。実装面でも、既存のグラフのモデルで良く見られる「木+先祖向きポインタ」形式への変換を統一した。

変換処理速度の問題については、処理速度の向上のためのプログラム変換技術により、どのような変換が正規形 (意味的にプログラム変換に適した変換記述形式) に持ち込めるか、どのような場合に完全に合成変換における中間データを削除出来るかをより明確にした。また、最適化変換のうちコスト増大のある危険性のあるものとその性質、プログラム変換自体の決定性についても考究した (雑誌論文 [9])。プログラム変換による速度低下に関しても更に詳細に分析を行なった (雑誌論文 [5])。

実用面でのスケーラビリティに関する予備的な考察、その他応用範囲拡大に向けたソフトウェア工学におけるモデル変換の基盤技術としてポスター発表 (学会発表 [12])、雑誌発表 [5] を行った。

影響範囲解析は、変換の連鎖のなかで、更新がどの段階まで影響を及ぼすかについての解析であるが、順、逆変換それぞれの単射性が大きくかわることが専門家との議論の過程で分かって来た。我々の対象とする非対称双方向変換 (順変換は単射でない 1 引数関数、逆変換は順変換の結果を更新したもの他に順変換が対象としたソースもとる 2 引数関数) では、順変換については単射でないため影響範囲は最後の段階までは及ばない可能性はあるが、PutGet を満たす双方向変換ではそもそも逆変換は与えられたソースのもとでターゲットについて単射でなければならないことが明らかにされており、逆変換の影響は常にソースまで及ぼすことが直ちに導かれる。ただ、我々が前提とする WPutGet (PutGet の条件を緩和したもの) の下では、更新されたターゲット v を逆変換し直後に順変換を行うと一般には v と異なる v' が得られ、これらは逆変換で同じソース値を返すという意味で Diskin 等の equivalence class に相当する等価性の関係にある。このクラスの範囲内での更新は、ソースまで伝わらないことになり、引き続き影響範囲の解析に値するため今後も検討を進めて行きたい。

グラフ双方向変換に基づき提供される双方向変換フレームワークについては、トレーサビリティ概念の補強、双方向 contraction の説明の強化、他の双方向変換アプローチとの区別の明確化、緩和された双方向的性質の説明の強化、表面言語による高次の記述と下位レベル言語との間の変換の説明の強化等を行った (雑誌論文 [5])。

応用範囲の拡大については、インターンシップ生と共同で合成生物学におけるモデル

の共同開発事例への適用 (雑誌論文 [3]) や、モデル検査結果のユーザレベルフィードバック事例への適用、実行可能モデルの翻訳の意味の付与に双方向変換を用い、翻訳先モデルの実行を翻訳元のモデル上の実行へ反映する予備的検討 (雑誌論文 [2]) を行った。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 12 件)

- [1]. 加藤弘之 胡振江 日高宗一郎 松田一孝, 高談闊論: 双方向変換の原理と実践 (解説論文), 日本ソフトウェア科学会論文誌 コンピュータソフトウェア, 査読有, Vol. 31, No. 2, 2014, pp.44-56, DOI: 10.11309/jssst.31.2_44
- [2]. Florent Latombe and Soichiro Hidaka On the use of Bidirectional Transformations for Translational Semantics GRACE TECHNICAL REPORTS, 査読無, National Institute of Informatics 2014(1) 2014, pp.1-16
- [3]. A Bidirectional Collaboration Framework for Bio-Model Development, John Wilson-Kanamori and Soichiro Hidaka, Second International Workshop on Bidirectional Transformations, *ECEASST*, 査読有, Vol. 57 (2014)
<http://journal.ub.tu-berlin.de/eceasst/article/view/866/861>
- [4]. Optimization for iterative queries on MapReduce, Makoto Onizuka, Hiroyuki Kato, Soichiro Hidaka, Keisuke Nakano, Zhenjiang Hu, *PVLDB*, 査読有, Vol.7, No.4, pp. 241-252 (2013)
<http://www.vldb.org/pvldb/vol7/p241-onizuka.pdf>
- [5]. GRoundTram: An Integrated Framework for Developing Well-Behaved Bidirectional Model Transformations, Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Kazuhiro Inaba, Hiroyuki Kato, Kei-

- suke Nakano, *Progress in Informatics*, Special Issue: Advanced Programming Techniques for Construction of Robust, General and Evolutionary Programs, 査読有, Vol. 10, pp.131-148 (2013)
DOI: 10.2201/NiiPi.2013.10.7
- [6]. Context-Preserving XQuery Fusion, Hiroyuki Kato, Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Keisuke Nakano and Yasunori Ishihara, *Mathematical Structures in Computer Science*, APLAS 2010 special issue (accepted, 掲載号未定), 査読有, Cambridge University Press
- [7]. 日高宗一郎, Jean Bezivin, 胡振江, Frederic Jouault 『モデル駆動工学の原理と応用』(1) モデル駆動工学の歴史と背景(解説論文), コンピュータソフトウェア, Vol. 30, No. 3 25-44 2013年8月, 査読有, DOI: 10.11309/jssst.30.3_25
- [8]. Yiqing ZHU, Tao ZAN, Soichiro HIDAKA and Zhenjiang HU iGRT:A Generic Interface for GRoundTram GRACE Technical Report, 査読無, (GRACE-TR 2012-06), 2012, pp.1-31
- [9]. Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Kazuhiro Inaba, Hiroyuki Kato, Kazutaka Matsuda, Keisuke Nakano and Isao Sasano, Marker-directed optimization of UnCAL graph transformations, Logic-Based Program Synthesis and Transformation, 21st International Symposium, LOPSTR 2011, Odense, Denmark, Revised Selected Papers, Lecture Notes in Computer Science, 査読有, Vol.7225, 2012, pp.123-138
DOI: 10.1007/978-3-642-32211-2_9
- [10]. Yijun Yu, Yu Lin, Zhenjiang Hu, Soichiro Hidaka, Hiroyuki Kato, Lionel Montrieux blinkit: Maintaining Invariant Traceability through Bidirectional Transformations, Technical Reports at the Centre for Research in Computing, Faculty of Mathematics, Computing and Technology, The Open University, 査読無, 2011(9), 2011, pp.1-13
- [11]. Soichiro Hidaka, Kazuyuki Asada, Hiroyuki Kato, Keisuke Nakano, Zhenjiang Hu Towards Bidirectional Transformations on Ordered Graphs GRACE Technical Report, 査読無, (GRACE-TR-2011-07) 2011-07, 2011, pp.1-24
- [12]. 模倣に基づくグラフスキーマを利用したビュー更新可能性判定, 中野 圭介, 日高 宗一郎, 胡 振江, 稲葉 一浩, 加藤 弘之, 日本ソフトウェア科学会論文誌コンピュータソフトウェア, 査読有, Vol. 29, No. 2, pp. 174-192, (2012)
DOI: 10.11309/jssst.29.2_174
- [学会発表] (計 19 件)
- [1]. Preface to the Third International Workshop on Bidirectional Transformations, Soichiro Hidaka, James F. Terwilliger, Proceedings of the Workshops of the EDBT/ICDT 2014 Joint Conference (EDBT/ICDT 2014), Athens, Greece, pp.61-62 2014年3月28日
<http://ceur-ws.org/Vol-1133/paper-09.pdf>
- [2]. Towards Co-evolution in Model-Driven Development Via Bidirectional Higher-Order Transformation, Bernhard Hoisl, Zhenjiang Hu and Soichiro Hidaka, MODELSWARD 2014 - Proceedings of the 2nd International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development,

- pp. 466-471 2014年1月7日 (Lisbon, Portugal)
<http://nm.wu-wien.ac.at/nm/file/MODELS-WARD2014-PP%2epdf?m=download>
- [3]. Position Statement: Compositional development framework for bidirectional model transformations based on structural recursion on graphs, Soichiro Hidaka, Bi-directional transformations (BX) – Theory and Applications Across Disciplines, Banff Centre, Banff, Canada, 2013年12月4日
- [4]. Soichiro Hidaka, Kazuyuki Asada, Zhenjiang Hu, Hiroyuki Kato, Keisuke Nakano, Structural recursion for querying ordered graphs, 18th ACM SIGPLAN International Conference on Functional Programming (ICFP 2013), 2013年9月27日, The Hilton Boston Logan Airport Hotel, Boston, USA
- [5]. Kazuyuki Asada, Soichiro Hidaka, Hiroyuki Kato, Zhenjiang Hu, Keisuke Nakano A parameterized graph transformation calculus for finite graphs with monadic branches, 15th International Symposium on Principles and Practice of Declarative Programming (PPDP 2013), 2013年9月16日, Complutense of University of Madrid, Madrid, Spain
- [6]. 目高 宗一郎, Bidirectional Graph Transformation Infrastructure and its Applications, NII Shonan Meeting on Engineering Adaptive Software Systems, (EASSy), 2013年9月10日, 湘南国際村センター、逗子市、神奈川県
- [7]. Soichiro Hidaka Towards an interoperable bidirectional graph transformation system, 3rd Asian Workshop on Advanced Software Engineering (AWASE 2013), 2013年7月20日, National University of Singapore, Singapore
- [8]. John Wilson-Kanamori and Soichiro Hidaka, A Bidirectional Collaboration Framework for Bio-Model Development, Second International Workshop on Bidirectional Transformation, 2013年3月17日, Sapienza, University of Rome (Rome, Italy)
- [9]. 目高 宗一郎, Interoperable traceability in bidirectional graph transformations, Atlanmod-BiG Joint workshop on Bidirectionality in Model Transformations, 2012年9月15日, MINES ParisTech, École Nationale Supérieure des Mines de Paris
- [10]. Yijun Yu, Yu Lin, Zhenjiang Hu, Soichiro Hidaka, Hiroyuki Kato, Lionel Montrieux blinkit: Maintaining Invariant Traceability through Bidirectional Transformations, 34th International Conference on Software Engineering (ICSE 2012), 2012年6月7日, Kongresshaus (Zurich, Switzerland)
- [11]. Soichiro Hidaka, Bidirectional Model Transformation based on Structural Recursion on Graphs, Seminar in Informatics dep. Ecole des Mines de Nantes, 2012年3月23日, Ecole des Mines de Nantes(Nantes, France)
- [12]. Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Kazuhiro Inaba, Hiroyuki Kato, Keisuke Nakano, GRoundTram: An Integrated Framework for Developing Well-Behaved Bidirectional Model

- Transformations (short paper), The 26th IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering (ASE 2011), 2011年11月9日, The Oread (Kansas, USA)
- [13]. Soichiro Hidaka, GRoundTram as an Integrated Framework and Developing Environments for Bidirectional Model Transformations, 2nd NII-PKU International Joint Workshop on Advanced Software Engineering, 2011年10月21日, ラフォーレ強羅 (神奈川県)
- [14]. 篠埜 功、胡 振江、日高 宗一郎、稲葉 一浩、加藤 弘之、中野 圭介, GRoundTramによるATLの双方向化の実現, 日本ソフトウェア科学会第28回大会, 2011年9月29日, 沖縄産業支援センター (沖縄県)
- [15]. 加藤弘之、鬼塚真、日高宗一郎、中野圭介、胡振江漸進的グラフビュー維持の枠組みの提案, 日本ソフトウェア科学会第28回大会, 2011年9月29日, 沖縄産業支援センター (沖縄県)
- [16]. Kazuhiro Inaba, Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Hiroyuki Kato, Keisuke Nakano, Graph-Transformation Verification using Monadic Second-Order Logic, 13th International ACM SIGPLAN Symposium on Principles and Practice of Declarative Programming (PPDP 2011), 2011年7月20日, University of Southern Denmark (Odense, Denmark)
- [17]. Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Kazuhiro Inaba, Hiroyuki Kato, Kazutaka Matsuda, Keisuke Nakano, Isao Sasano, Marker-directed optimization of UnCAL graph transformations, 21st International Symposium on Logic-Based Program Synthesis and Transformation (LOPSTR 2011), 2011年7月19日, University of Southern Denmark (Odense, Denmark)
- [18]. Isao Sasano, Zhenjiang Hu, Soichiro Hidaka, Kazuhiro Inaba, Hiroyuki Kato, Keisuke Nakano, Toward bidirectionalization of ATL with GRoundTram, 4th International Conference on Model Transformation (ICMT 2011), Zurich, Switzerland, 2011年6月27日
- [19]. Soichiro Hidaka, Static and Dynamic Optimizations in a Graph Roundtrip Transformation System GRoundTram, 5th International Workshop on Bidirectional Transformation in Architecture-Based Component Composition (BT in ABC 5), 2011年5月17日, Xi'an Jiaotong University (Xi'an, China)
- [その他]
ホームページ等
- [1]. LambdaFG version 0.1.
<http://www.biglab.org/src/lambdaFG/>
学会発表[4]に伴う実装
- [2]. GRoundTram Version. 0.9.3a
http://www.biglab.org/src/ground_tram-0.9.3a.tgz
研究代表者の貢献は (a). ラウンドトリップ性を満たすグラフ縮約の編集インタフェース (学会発表[11]/雑誌論文[5]), (b). UnCAL 書き換えアルゴリズムの強化 (雑誌論文[9]), (c). 由来追跡 (provenance traceability) インタフェースの強化.
6. 研究組織
(1) 研究代表者
日高 宗一郎 (HIDAKA, Soichiro)
国立情報学研究所・アーキテクチャ科学研究系・助教
研究者番号 : 70321578