

平成 26 年 6 月 5 日現在

機関番号：62615

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22300012

研究課題名(和文) 双方向モデル変換の言語的基盤技術に関する研究

研究課題名(英文) Study on Language Foundation for Bidirectional Model Transformation

研究代表者

胡 振江 (Hu, Zhenjiang)

国立情報学研究所・アーキテクチャ科学研究系・教授

研究者番号：50292769

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,700,000円、(間接経費) 3,210,000円

研究成果の概要(和文)：双方向モデル変換は、モデル駆動ソフトウェア開発において、従来は上流過程から下流過程への単方向のモデル変換であったものを、下流過程におけるモデルの修正を上流過程に反映させること目的としており、その言語的技術基盤を確立すべく、言語の設計、実装、応用にわたって研究するという当初の研究計画に対して、以下のような成果を挙げた。(1) 双方向グラフ変換の言語UnQL+を提案し、双方向モデル変換の基盤技術を確立した。(2) 世界初の双方向グラフ変換エンジン GRoundTram を実現し公開し、ヨーロッパやアジアのグループが研究に利用している。(3) モデルとコードの共進化に応用し、国際的な評価を得た。

研究成果の概要(英文)：Bidirectional model transformation is useful for maintaining consistency between two models in model-driven software development. However, the lack of solid language foundation and a practical tool support for systematic development of well-behaved and efficient bidirectional model transformation prevent it from being widely used. We solve this problem by proposing a novel bidirectional graph transformation language UnQL+ which is an extension of unidirectional graph query language unQL, and implementing an integrated framework called GRoundTram, which is carefully designed and implemented for compositional development of well-behaved and efficient bidirectional model transformations in UnQL. GRoundTram is equipped with a user-friendly language for coding bidirectional model transformation, a novel tool for validating both models and bidirectional model transformations, an optimization mechanism for improving efficiency, and a powerful debugging environment.

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：ソフトウェア

キーワード：ソフトウェア工学 双方向変換 モデル駆動ソフトウェア開発 モデルコードの共進化

1. 研究開始当初の背景

業務アプリケーションの大規模化、複雑化が急速に進む中、高信頼性、高生産性、および進化可能性を確保した業務アプリケーションソフトをいかに効率的に開発するかが課題となっている。モデル駆動ソフトウェア開発(MDD)は、ソフトウェアの生産性の向上、品質の向上のためのソフトウェア開発手法として注目されている。特に、UMLの登場以来、MDDがソフトウェア開発現場へ急速に浸透し、それに関連するツール技術の成熟や計算機の高性能・高機能化に伴い、今後のソフトウェア開発の基盤となっていくものと思われる。

双方向モデル変換では、ソフトウェアの要求解析、設計、実装の各段階の成果がモデルとして表現され、ソフトウェアの開発ステップはモデル変換によって表現される。通常、要求解析、システム設計、実装は別々のチームで行われ、また、各段階のモデルが共存してそれぞれ修正され発展する。このとき、あるモデルに加えた変更を次の段階のモデルだけでなくその前の段階のモデルにも伝播させ、どのようにシステム開発の一貫性を保証するかは重要な未解決問題である。

2. 研究の目的

本研究では、双方向モデル変換言語を導入することで、各段階のモデル修正(進化)を正確に他のモデルに伝播し、システムの一貫性を保証する双方向モデル変換によるソフトウェア開発(BMDD: bidirectional model-driven software development)手法を提案する。

3. 研究の方法

本研究課題は、双方向モデル変換の数学的な基盤を確立し、明確な双方向計算の意味を持つ双方向モデル変換言語を設計、実現するとともに、実用的なソフトウェアツールの開発、およびソフトウェア開発過程に双方向変換を適用する手法を開発し、ソフトウェアの信頼性の確保と生産性の向上のための方法論を確立する。具体的に、以下の項目(1),(2),(3)で、理論・実現・応用の側面から研究を進めた。

- (1) 双方向モデル変換の数学的基盤の確立と双方向モデル変換言語の設計。
- (2) 双方向モデル変換言語の高信頼かつ効率的な実現とその開発支援環境の構築。
- (3) ソフトウェア開発全過程における双方向変換基盤の構築と実例開発による評価。

4. 研究成果

本研究の主要成果は次の3点である。

(1) 双方向モデル変換言語の基盤技術の確立、双方向モデル変換エンジンの効率的実装と実証

グラフ問い合わせ言語UnQLの基盤であるグラフ代数UnCALに対する双方向的意味論を与え、双方向グラフ変換言語UnQL+を提案し効率的に実現し、双方向モデル変換の基盤技術を確立した。そして、世界初の双方向グラフ変換エンジン GRoundTram を実現しウェブ(<http://www.biglab.org>)で公開した。これはヨーロッパやアジアの研究グループに利用されている。さらに、モデルとコードの共進化という具体的なソフトウェアの開発事例を用いて実証実験を行い、双方向モデル変換の有効性と実用性を評価した。この成果はソフトウェア工学のトップ会議であるICSE 2012で発表した。更に、次のステップとして、双方向変換の手法を用いて、CPSにおけるソフトウェアの挑戦課題を解くための斬新なCPSにおけるソフトウェア運用基盤の構築を検討した。

(2) 双方向モデル変換の解析

グラフ変換言語 UnQL およびそのコア代数UnCAL の型検査手法を研究した。与えたグラフ変換が、入出力グラフに課した構造制約を常に満たす変換となっているかを静的検証する計算機実行可能な枠組みを定式化することに成功した。また、具体的な型検査システムの実装としては、単項二階論理(MSO)と呼ばれる論理の真偽判定問題へとモデル変換の型検査問題を帰着させて、MONA という既存のMSO実装系を活用し、高速な実装を行った。また、グラフ変換言語 UnCAL を対象にした双方向変換においては、任意の出力グラフの更新に対して入力グラフへの反映を計算しようとしたため、更新された出力グラフが値域に含まれていない場合に結果的に不要な計算を行ってしまう。この問題を解決するために、ユーザの意図する入力グラフに対応する値域をあらかじめ算出し、更新された出力グラフがユーザの与えたグラフスキーマの値域に含まれるかを事前に判定する必要がある。この問題を解決するために、データベースへの反映を計算する前に更新されたビューの妥当性を検証する手法を提案した。

(3) 順序付くグラフを対象とする双方向グラフ言語への拡張

順序付くグラフを対象とする双方向グラフ言語の意味論、双方向モデル変換言語の効率的

な実現、そして双方向モデル変換の応用を中心に研究を進めた。具体的に、これまでの双方向グラフ変換は順序なし分岐グラフを対象としている。我々はXMLなどを応用対象とする順序付き分岐グラフなども変換の対象として拡張し、より一般的な双方向グラフ変換言語を定義し実現した。

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 4 件)

Hiroyuki Kato, Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Keisuke Nakano, Yasunori Ishihara, Context-Preserving XQuery Fusion, Mathematical Structures in Computer Science (MSCS), Cambridge University Press (掲載確定, 査読有)

Zhenjiang Hu, Andy Schurr, Perdita Stevens, James Terwilliger, Dagstuhl Seminar on Bidirectional Transformations, **SIGMOD Record**, Vol.40, No.1 2011. pp.35-39.

中野 圭介, 日高 宗一郎, 胡 振江, 稲葉 一浩, 加藤 弘之, 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, コンピュータソフトウェア, 29 巻 2 号, 2012. pp.74-191. 2011

Hui Song, Yingfei Xiong, Franck Chauvel, Gang Huang, Zhenjiang Hu, Yanchun Sun, Hong Mei, Supporting Runtime Software Architecture: A Bidirectional-Transformation Based Approach, Journal of Systems and Software, Elsevier, Volume 84, Issue 5, May 2011. pp.711-723., 2010

[学会発表](計 13 件)

Yijun Yu, Yu Lin, Zhenjiang Hu, Soichiro Hidaka, Hiroyuki Kato, Lionel Montrieux, Maintaining Invariant Traceability through Bidirectional Transformations, 34th International Conference on Software Engineering (ICSE 2012), Zurich, Switzerland, June 2-9, 2012. pp.540-550.

Hugo Pacheco, Alcino Cunha, Zhenjiang Hu, Delta Lenses over Inductive Types,

First International Workshop on Bidirectional Transformations (BX 2012), Tallinn, Estonia, March 25, 2012. Extended version appears in Electronic Communications of the EASST, Volume 49, 2012. 17pp.

Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Kazuhiro Inaba, Hiroyuki Kato, Keisuke Nakano, GRoundTram: An IntegratEd Framework for Developing Well-Behaved Bidirectional Model Transformations (short paper), 26th IEEE/ACM International Conference On Automated Software Engineering (ASE 2011), Oread, Lawrence, Kansas, USA, November 6-10, 2011.

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), Odense, Denmark, July 18-20, 2011.

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), Odense, Denmark, July 20-22, 2011.

Isao Sasano, Zhenjiang Hu, Soichiro Hidaka, Kazuhiro Inaba, Hiroyuki Kato, Keisuke Nakano, Toward bidirectionalization of ATL with GRoundTram, International Conference on Model Transformation (ICMT 2011), Zurich, Switzerland, June 27-28, 2011. LNCS 6707. pp.138-151.

Hiroyuki Kato, Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Keisuke Nakano, Yasunori Ishihara, Context-Preserving XQuery Fusion, Eighth ASIAN Symposium on Programming Languages and Systems (APLAS 2010), Shanghai, China, November 22 - December 1, 2010.

Bo Wang, Yingfei Xiong, Zhenjiang Hu, Haiyan Zhao, Wei Zhang, Hong Mei, A Dynamic-Priority based Approach to

Fixing Inconsistent Feature Models, ACM/IEEE 13th International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems (MODELS'10), Oslo, Norway, October 3-8, 2010.

Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Kazuhiro Inaba, Hiroyuki Kato, Keisuke Nakano, Kazutaka Matsuda, Bidirectionalizing Graph Transformations, 15th ACM SIGPLAN International Conference on Functional Programming (ICFP 2010), Baltimore, Maryland, USA, September 27-29, 2010.

Janis Voigtlander, Zhenjiang Hu, Kazutaka Matsuda, Meng Wang, Combining Syntactic and Semantic Bidirectionalization, 15th ACM SIGPLAN International Conference on Functional Programming (ICFP 2010), Baltimore, Maryland, USA, September 27-29, 2010.

Bo Wang, Zhenjiang Hu, Yingfei Xiong, Haiyan Zhao, Wei Zhang, Hong Mei, Tolerating Inconsistency in Feature Models, 3rd Workshop on Living with Inconsistencies in Software Development (LWI'10), co-located with ASE 2010, Antwerp, Belgium September 21, 2010.

Meng Wang, Jeremy Gibbons, Kazutaka Matsuda, Zhenjiang Hu, Gradual Refinement: Blending Pattern Matching with Data Abstraction, 10th International Conference on Mathematics of Program Construction (MPC 2010), Quebec City, Canada, June 21-23, 2010.

Kazutaka Matsuda, Shin-Cheng Mu, Zhenjiang Hu, Masato Takeichi, Grammar-based Approach to Invertible Programs, 19th European Symposium on Programming (ESOP 2010), Paphos, Cyprus, March 22-26, 2010. LNCS 6012, pp.448-467.

〔図書〕(計 1 件)

Zhenjiang Hu, Juan de Lara (Eds): Theory and Practice of Model Transformations - 5th International Conference, ICMT 2012, Prague, Czech Republic, May 28-29, 2012. LNCS 7307,

Springer 2012.

〔その他〕
ホームページ等

<http://www.biglab.org/>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

胡 振江 (HU ZHENJIANG)
国立情報学研究所・アーキテクチャ科学研究系・教授
研究者番号: 50292769

(2)研究分担者

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

加藤 弘之 (KATO HIROYUKI)
国立情報学研究所・コンテンツ科学研究系・助教
研究者番号: 10321580

稲葉 一浩 (INABA KAZUHIRO)
Google・Software Engineer
研究者番号: 30570311
(平成22年度まで研究分担者)

(3)連携研究者

中野 圭介 (NAKANO KEISUKE)
電気通信大学・先端領域教育研究センター・准教授
研究者番号: 30505839

篠埜 功 (SASANO ISAO)
芝浦工業大学・工学部情報工学科・准教授
研究者番号: 10362021

江本 健斗 (EMOTO KENTO)
東京大学大学院・情報理工学系研究科・助教
研究者番号: 00587470

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