

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 6 月 6 日現在

機関番号：62615  
 研究種目：挑戦的萌芽研究  
 研究期間：2010～2011  
 課題番号：22650007  
 研究課題名（和文） モデルの型検査からモデル変換の型検査へ  
 研究課題名（英文） Towards Model Transformation Validation from Model Validation  
 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

研究成果の概要（和文）：

本研究では、木構造を一般化したグラフ構造の変換の研究に力を注ぎ、グラフ問い合わせ言語 UnQL (UnCAL) で書かれたグラフ変換が、入出力グラフに課したい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。さらに、ユーザの意図する入力グラフに対応する値域をモデル変換からあらかじめ算出し、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手法を提案した。これにより、正確なビュー更新の妥当性を事前に確認することが可能となる。

研究成果の概要（英文）：

In this research, we succeeded in designing a static verification algorithm for validating transformations in UnQL (UnCAL), a known graph (model) querying language. Our new approach to the verification problem is based on the two important characteristics of UnCAL, bisimulation-equivalence of graphs and structured recursion, and we show that a graph transformation in the Core UnCAL can be automatically checked with the MONA system against a schema specified in the powerful monadic second order logic (MSO). Moreover, we show that ranges of transformations can be statically computed, which can be used to exclude invalid updates on the resulting graph of a transformation.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,300,000	0	1,300,000
2011 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,200,000	270,000	2,470,000

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：モデル変換、モデル駆動ソフトウェア、検証、グラフ変換

## 1. 研究開始当初の背景

近年、モデル駆動開発 (Model Driven Software Development, MDD) と呼ばれるコンピュータソフトウェア開発手法が注目を浴びている。MDD の一例として、使用環境に依存しない形で純粋にソフトウェアの機能を記述したプラットフォーム独立モデル (PIM) から、プラットフォームの定義モデル (PDM) を合わせることで、「モデル変換」により使用環境に特化したモデル (PSM) を自動生成する、といった開発スタイルがある。問題に応じて様々な抽象度のモデルを定義し、それぞれのモデルを独立に開発可能にすることによる要求や環境の変化への柔軟な対応、ならびに、モデル変換というプログラムの形で各モデル間の関係を記述することによる自動的なソフトウェア全体の一貫性保証が MDD の特徴である。

しかし、現在の MDD には幾つもの課題が残っており、その一つがモデル変換の性質検証である。現在のところ、具体的な一つ一つのモデルが妥当なものであるかを検証する「モデルの型検査」は多くの MDD 開発環境で実現されているが、あるモデル変換が常に妥当なモデルを生成する、といった、より強い性質を保証する「モデル変換の型検査」を実現したシステムは存在しない。後者は、伝統的なソフトウェア開発プログラミング言語に対する「静的型検査」に相当し、ソフトウェアの問題点の早期発見に非常に役に立つことが知られているが、モデル変換に対しては未だこのような技法が確立されていないのである。

## 2. 研究の目的

本研究では、ソフトウェア開発過程を表現するためのあるモデル変換が常に妥当なモデルを生成する、といったより強い性質を保証する「モデル変換の型検査」の問題を、形式論理およびオートマトン理論と呼ばれる数理的な技法を用いた解決を目指す。これらの技法を用いたモデル変換の型検査手法を確立し、さらに、実用に耐える高効率なシステムを実装し広く公開することが研究目的である。

## 3. 研究の方法

具体的かつ端的にグラフの問題の難しさを表す理論的な事実として、グラフに関する

一般の性質は、階層構造に関する性質とは異なり、計算機には本質的に決定不可能であることが知られている。本研究では、この壁を突破するための方法論として「言語的アプローチ」をとる。すなわち、全体目標であるモデル変換を記述できるだけの強い表現力を持つと同時に、諸性質が計算機で決定可能な範囲にとどまるよう不要に高い自由度は除いた、ぴたりと適切な表現力を持ったモデル変換記述言語をデザインすることで、表現力と検査可能性の両立を目指す。

我々はこれまでの研究では、グラフ変換言語 UnQL に基づく双方向モデル変換システム GRoundTram を設計・公開し、モデル変換の記述に使用可能な表現力を持つことを示している。本研究は、この言語の持つ性質として知られている「Bisimulation-Generic」という特徴に着目することで、決定可能な型検査の実装を与えることができるのではないかと、というアイデアに基づいている。

また、現実の大規模ソフトウェア開発におけるモデル変換へと本研究検査手法を適用するには、理論的な決定可能性にとどまらず、実用的な速度で動作する具体的なシステムの考案および実装が不可欠である。本研究では、論理的性質の高効率な決定計算システムとして知られている MONA をバックエンドとして用いて、グラフ変換をいかに MONA の解する MSO と呼ばれる形式論理へと符号化する方法を追求する。

## 4. 研究成果

本萌芽研究の主要成果は次の2点である。

第一に、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い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。本提案手法の概要は次の通りである。

- (1) UnQL+ とスキーマ言語の Bisimulation Genericity と Compactness と呼ばれる性質を活用し、条件を満たさない反例があるとすれば「木構

造」に限る、という状態へ問題を絞り込む。

- (2) 「出力が条件を必ず満たす」という性質を、単項二階論理 (MSO) の論理式で表現する。
- (3) 木構造上のMSOソルバを利用して検証を自動的に行う。

第二に、グラフ変換言語 UnCAL を対象にした双方向変換において、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する。より具体的な貢献は以下の2点である。

- (1) ビューが妥当であるかは、対応するソースのグラフが(存在する場合は)ユーザの意図に適合するかに依存するため、ユーザの意図を表現するためのVU スキーマを導入した。
- (2) VU スキーマで与えられる入力グラフの集合に対し、UnCAL によるグラフ変換の値域(すなわち変換結果となりうるグラフの集合)を大まかに算出する方法を示し、更新されたビューがその値域に含まれるかが決定可能であることを示した。

これらの結果により、更新されたビューに対応するソースグラフがユーザの指定したVU スキーマに適合するかを、逆変換を実行する前に確認することが可能になる。

## 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 中野圭介、日高宗一郎、胡振江、稲葉一造、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、査読有、29

巻2号、2012、174-191

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jssst/29/2/29\\_174/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jssst/29/2/29_174/_pdf)

- ② Kazuhiro Inaba, Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Hiroyuki Kato, Keisuke Nakano, Sound and Complete Validation of Graph Transformations, Technical Report GRACE-TR-2010-04、査読無、2010-04、2010、1-27  
<http://grace-center.jp/downloads/GRACE-TR-2010-04.pdf>

[学会発表] (計4件)

- ① Kazuhiro Inaba, Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Hiroyuki Kato, Keisuke Nakano, Graph-Transformation Verification using Monadic Second-Order Logic, 13<sup>th</sup> 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.  
<http://research.nii.ac.jp/~hu/pub/ppdp11.pdf>
- ② 中野圭介、日高宗一郎、胡振江、稲葉一造、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、第13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、2011年3月10日、定山溪ビューホテル、北海道。
- ③ Keisuke Nakano, Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Kazuhiro Inaba, Hiroyuki Kato, Range Analysis of Graph Transformation for Simulation-based Schema (poster), 8<sup>th</sup> Asian Symposium on Programming Languages and Systems (APLAS 2010)、2010年11月30日、Hengshan Hotel, Shanghai, China.
- ④ Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Kazuhiro Inaba, Hiroyuki Kato, Keisuke Nakano, Kazutaka Matsuda, Bidirectionalizing Graph Transformations, 15<sup>th</sup> ACM SIGPLAN International Conference on Functional Programming (ICFP 2010)、2010年9月28日、Hyatt Regency Inner Harbor, Baltimore, America.  
<http://research.nii.ac.jp/~hu/pub/icfp10.pdf>

[その他]

発表論文、開発したシステムのソースなどを  
下記のプロジェクトのページからご覧いた  
だける。

<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

稲葉 一浩 (INABA KAZUHIRO)

国立情報学研究所・アーキテクチャ科学  
研究系・研究員

研究者番号：30570311

(2010年度のみ)

### (3) 連携研究者

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