

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2007～2010

課題番号：19200002

研究課題名（和文） 双方向変換機構とその応用に関する研究

研究課題名（英文） Bidirectional Transformation Mechanisms and its Application

研究代表者

武市 正人 (TAKEICHI MASATO)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授

研究者番号：10011165

研究成果の概要（和文）：

双方向変換機構をソフトウェアの高信頼化・生産性の向上のための方法論として確立するための基盤として双方向言語の概念を整理した。それに基づき、実用的な XML 文書向けの双方向変換ライブラリ Bi-HaXml を開発して双方向変換機構の有用性を確認した。さらに、ソフトウェア開発における双方向モデル記述言語 Beanbag の設計とそのシステムの開発を行って実用的なシステム開発のためのソフトウェアを構築し、その有効性を示した。

研究成果の概要（英文）：

Bidirectional transformation mechanisms have been studied for establishing a methodology to develop reliable and productive software, which is based on exploring a language with bidirectional properties. A bidirectional transformation library Bi-HaXml for XML documents has been developed to demonstrate usefulness of our idea of bidirectional mechanism. For such a mechanism to be applied in software development processes, a bidirectional model description language called “Beanbag” has been designed and its system has been developed to illustrate its effectiveness.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	8,000,000	2,400,000	10,400,000
2008年度	8,400,000	2,520,000	10,920,000
2009年度	8,200,000	2,460,000	10,660,000
2010年度	8,000,000	2,400,000	10,400,000
年度			
総計	32,600,000	9,780,000	42,380,000

研究分野：ソフトウェア科学

科研費の分科・細目：情報学・ソフトウェア

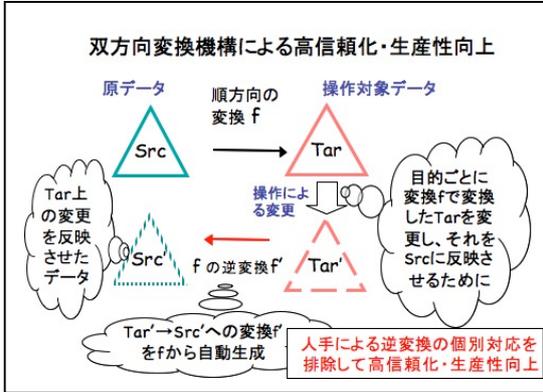
キーワード：プログラム言語、ソフトウェア設計、双方向変換機構

1. 研究開始当初の背景

双方向変換は、データベースや構造化文書などの原データ Src から興味のある部分的な情報を抽出したり、操作に適した形式に変換したりして得られる操作対象データ Tar との間に存在する変換の組 $\langle f, f' \rangle$ のことである。このとき、原データから操作対象

データへの順方向の変換 f から構成的にその逆変換 f' を生成する仕組みとしての双方向変換機構を実現できれば、順変換 f のプログラムを記述しさえすれば、自動的にその逆変換 f' に相当するプログラムが得られるので、人手によって逆変換を記述する必要がない。逆変換のプログラムを作成する

ことがないので、順変換と逆変換のプログラムが矛盾するといった誤りが生じることがなく、信頼性の高い変換を実現できるとともに、逆変換プログラム作成の手間が削減され、生産性が向上するといった効果が得られることになる。



データ変換において逆変換が必要になるのは、操作対象データ上で変更を行い、その効果を原データに反映させるときである。双方向変換はデータベースの XML ビューの更新、複製データの同期処理、高信頼構造化文書の作成、ソフトウェア開発などに応用されているが、逆変換を順変換から構成的に作り出す手法は確立されていなかった。

2. 研究の目的

本研究課題の目的は、双方向変換機構をソフトウェアの高信頼化・生産性の向上のための方法論として確立することである。具体的には、一般的な双方向変換機構の基盤を確立し、その枠組みのもとで、原データ **Src** と対象データ **Tar** の適用領域を定めるとともに、その間の双方向変換 $\langle f, f^{-1} \rangle$ の記述言語を設計し、双方向変換機構による実用的なシステム開発のためのソフトウェアを構築することが目的である。

3. 研究の方法

本研究課題の目的に合わせて、双方向変換機構の基礎を確立するとともに、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ために、以下の具体的な項目で研究を進めた。

- [研究項目 A] 双方向変換機構の数学的基盤の確立と双方向変換言語の開発
- [研究項目 B] 双方向変換システムの開発支援環境の構築
- [研究項目 C] ソフトウェア開発過程における双方向変換基盤の構築

研究期間(4年間)を通して、これらの研究項目を併行して進めることとした。

研究項目 A では、双方向変換機構の数学的基盤の確立と一般的双方向変換言語の開発を目指した。本研究では、開発する一般的な双方向変換言語には、(1)特定の領域に特化したものではなく一般的であり、(2)変換プログラムを動的に合成可能(compositional)で、(3)双方向変換を記述しやすく、(4)順変換から逆変換を自動的に導出する双方向変換機構を備えている、といったことを要件とすることとした。

研究項目 B では、双方向変換プログラム開発支援環境の開発とビュー更新ソフトウェアのための汎用ライブラリを開発を行うこととした。そこでは、双方向変換言語によって双方向変換プログラムを開発するためのツール(エディタ、デバッガ等)、および領域向け言語から双方向変換言語への翻訳ツールを開発して、双方向変換機構の実用性を実証することとした。

研究項目 C では、特徴重視プログラミングにおける双方向変換基盤の設計と双方向特徴重視プログラミングシステムの開発を行い、プログラム開発における双方向変換機構の応用を目指すこととした。要求分析において、異なるデータモデルの間の関係を双方向変換言語で記述する提案もあるが、このような要求分析だけではなく、プログラムの開発過程全般に対する段階的詳細化に双方向変換機構を位置づけることを目指した。

4. 研究成果

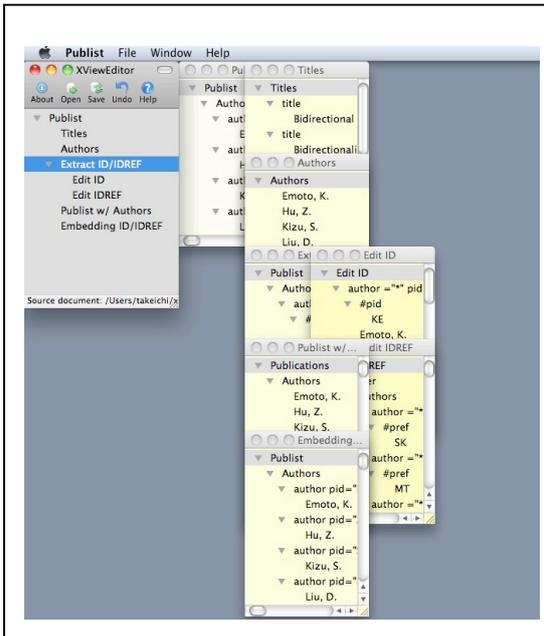
(1) 双方向変換言語に関する研究(雑誌論文①④⑤)

研究項目 A に関して、双方向変換と密接に関係のある逆プログラムに関する理論的な考察を行った。逆プログラムは、出力結果を入力としてもとのプログラムの入力を入力するものであるが、双方向変換機構においても逆プログラムの構成技術を利用することができる。理論的な成果の一つとして、一階の関数型言語に対するガイド付き木オートマトンに基づく逆プログラムの生成手法を提案した。本手法において決定性を有する逆プログラムを構成できるもとのプログラムは、木オートマトンに対応する曖昧でない文法で厳密に特徴づけられる。これらは双方向変換言語に関する基礎的な成果に位置づけられる。

(2) 双方向 XML 変換ライブラリ Bi-HaXml の開発と応用(雑誌論文⑥⑦)

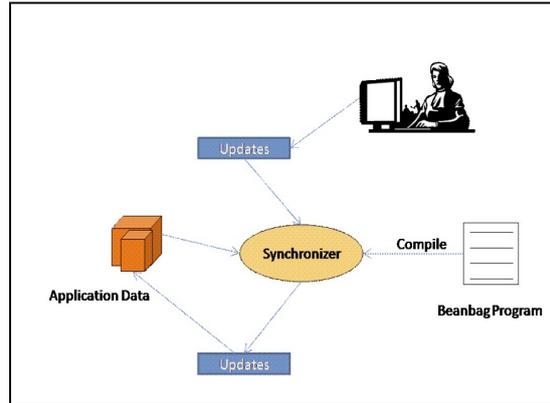
研究項目 B に関して、XML に代表される構造化文書処理に双方向変換を用い、データベースの更新において部分情報を抽出したビュー上で該当するデータを更新するビュー

一更新においてもその有効性が示されている。XML 文書処理のために開発された関数型言語 Haskell による XML 変換ライブラリ HaXml を双方向化した Bi-HaXml を開発した。Bi-HaXml は、単一順方向の変換を扱う既存の HaXml プログラムがそのまま双方向変換の機能を有するというライブラリであり、自動的に逆変換も得るという双方向変換機構を XML 文書処理に対して実現したものである。これによって、逆変換のための付加的なプログラムなしで矛盾のない逆方向変換処理を実現できる。これを用いて、ビュー更新による XML エディタ XViewEditor を開発し、その有効性を確認した。



(3) Beanbag システムの設計と開発(雑誌論文②③⑧)

研究項目 C に関して、ソフトウェア開発におけるモデル間の双方向の同期をとるための双方向モデル記述言語 Beanbag を設計した。統一的なモデル記述言語として知られる OCL(Object Constraint Language)には同期に関する機能は考慮されていないが、Beanbag は OCL に同期の機能を導入し、OCL と同様にモデルを記述して、モデルに対する無矛盾性等の検査を行うとともに、モデルが更新されたときに同期を実行するシステムを構築した。現実的な Beanbag の実現にあたって重要な課題は、更新・変更を取り消すことのできる仕組みであり、関数型言語 Haskell による遅延評価を有効に使う方法を提案し、それを実現している。また、Beanbag によって開発したアプリケーションで実用性を実証した。



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 8 件)

- ① Kazutaka Matsuda, Shin-Cheng Mu, Zhenjiang Hu, Masato Takeichi. Grammar-based Approach to Invertible Programs, 19th European Symposium on Programming (ESOP), LNCS6012, pp.448-467 (2010). 査読有り.
- ② Yingfei Xiong, Zhenjiang Hu, Haiyan Zhao, Hui Song, Masato Takeichi, Hong Mei. Supporting Automatic Model Inconsistency Fixing. ACM SIGSOFT Symposium on the Foundations of Software Engineering (FSE) (ESEC/FSE 2009). 315-324(2009). 査読有り.
- ③ Yingfei Xiong, Hui Song, Zhenjiang Hu, Masato Takeichi. Supporting Parallel Updates with Bidirectional Model Transformations. International Conference on Model Transformation (ICMT 2009). 査読有り.
- ④ Kazutaka Matsuda, Zhenjiang Hu, Masato Takeichi. Type-based Specialization of XML Transformations. ACM SIGPLAN 2009 Workshop on Partial Evaluation and Program Manipulation (PEPM 2009). 61-72(2009). 査読有り.
- ⑤ 松田 一孝, 胡 振江, 中野 圭介, 浜名 誠, 武市 正人. 補関数の生成による複製機能付きプログラムの自動双方向化. コンピュータソフトウェア, 第 26 巻 2-56~2-75(2009). 査読有り.
- ⑥ Keisuke Nakano, Zhenjiang Hu,

Masato Takeichi. Consistent Web Site Updating based on Bidirectional Transformation. International Journal on Software Tools for Technology Transfer. Vol. 11, 453-468(2009). 査読有り.

- ⑦ Zhenjiang Hu, Shin-Cheng Mu, Masato Takeichi. A Programmable Editor for Developing Structured Documents based on Bidirectional Transformations. Higher-Order and Symbolic Computation. Vol. 21, 89-118(2008). 査読有り.
- ⑧ Yingfei Xiong, Dongxi Liu, Zhenjiang Hu, Haiyan Zhao, Masato Takeichi, Hong Mei. Towards Automatic Model Synchronization from Model Transformations. 22nd IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering. 164-173(2007). 査読有り.

[学会発表] (計 5 件)

- ① Julien Tesson, Hideki Hashimoto, Zhenjiang Hu, Frederic Loulergue, Masato Takeichi. Program Calculation in Coq. Thirteenth International Conference on Algebraic Methodology And Software Technology, June 23-26, 2010. Quebec City, Canada
- ② Masato Takeichi. Configuring Bidirectional Programs with Functions. 21st Symposium on Implementation and Application of Functional Languages (IFL2009). September 23-25, 2009. Seton Hall University, South Orange NJ, USA.
- ③ 木津 幸子, 武市 正人, 胡 振江. 内部参照をもつ XML 文書の双方向変換による編集. 日本ソフトウェア科学会第 26 回大会. 2009 年 9 月 16 日-18 日. 島根大学.
- ④ Keisuke Nakano, Zhenjiang Hu, Masato Takeichi. Consistent Web Site Updating based on Bidirectional Transformation. 10th IEEE International Symposium on Web Site Evolution (WSE 2008). October 3-4, 2008. Beijing, China.
- ⑤ Dongxi Liu, Keisuke Nakano, Yasushi Hayashi, Zhenjiang Hu, Masato Takeichi, Akimasa Morihata, Yingfei Xiong. Bi-X Core: A General-Purpose Bidirectional Transformation Language. 第 24 回日本ソフトウェア科学会大会. 2007 年 9 月 12 日. 奈良.

[その他]

Beanbag システムのホームページ：
<http://swen.uwaterloo.ca/~y6xiong/beanbag.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

武市 正人 (TAKEICHI MASATO)
東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授
研究者番号：10011165

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

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

松崎 公紀 (MATSUZAKI KIMINORI)
高知工科大学・情報学群・准教授
研究者番号：30401243