

機関番号：62615  
 研究種目：若手研究(B)  
 研究期間：2008～2010  
 課題番号：20700035  
 研究課題名(和文) XML向けデータベースプログラミング言語への融合変換適用に関する研究  
 研究課題名(英文) A Study on application of fusion transformation on XML database programming 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

研究成果の概要(和文)：階層などの構造を持つデータを扱うプログラムについて、それを複数のデータ変換の合成として記述することはプログラムの見通しをよくするため有効であるが、このようなプログラムは個々の変換の間に多くの中間データが発生するため一塊として記述する場合に比べ性能が低下してしまう問題がある。これに対し中間データを除去する融合変換が知られており、本研究では構造を持つデータの扱いに適したデータベースプログラミング言語について融合変換を適用し、その適用範囲を拡大し、自明でない合成例について有効性を示した。

研究成果の概要(英文)：It is considered to be effective to describe a program in compositional form that combines multiple data transformation in programming languages that manipulates structures such as hierarchies, because it is less efficient than a program in monolithic form since composition results in many intermediate results. The fusion program transformation is known to cope with this issue. In this study, the fusion transformation technique was applied to one of database programming languages, enhanced its applicability, and showed its effectiveness for non-trivial compositional examples.

#### 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

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：DBPL、XML、融合変換

#### 1. 研究開始当初の背景

拡張可能なマークアップ言語 XML は、必要に応じて自由な構造を表現することができ、WWW での共通データ交換形式等、様々な分野に浸透している。XML に対する処理は従来、伝統的な手続き型言語で記述されたホスト言語に対し、DOM(Document Object

Model) 等のライブラリ呼び出しや、アドホックな問い合わせ言語を埋め込んで行われることが多く、XML 固有の木構造と、問い合わせ言語、ホスト言語が持つモデルの相違から来るインピーダンスミスマッチが問題視されてきた。

## 2. 研究の目的

前掲のようなミスマッチを解消すべく、XML に対するデータベースプログラミング言語としての XQuery や、従来の言語の拡張による解決策が提案されている。これ等の言語は、記述の容易さを重視した設計になっており、様々な構文要素を関数プログラミングスタイルで組み合わせた式を多用している。そのような式ではデータを複数の演算子でカスケード処理することがあり、複数のステージを縮退させることで時間空間両方の計算量を削減することにより、効率化が期待される。例えば、数列の各要素に対して、それぞれ二乗したものの総和を取る演算が、二乗を取るステージと総和を取るステージに分けて記述されていた場合、ステージ間で中間データが生成されるが、要素の二乗を足し込む変数を用意し、その変数の最終値を結果とする単一ステージに変換すると、中間データの生成を回避することができる。

このような最適化を目的として、関数プログラミングの分野で融合変換が提案されている。本研究は、これを XQuery 等の最近のデータベースプログラミング言語へ適用し、最適化を試みるものである。

## 3. 研究の方法

以下のような方法をとった。

- (1) 融合対象となる再帰演算子の抽出を行い、それ等の演算子の特徴を考究する。
- (2) case study により融合変換適用のシナリオと効果の目論見を明確にする。
- (3) データベース、圏論研究者との議論によりデータ集約処理や圏論の観点からの助言を得る。
- (4) プロトタイプ実装により有効性を検証する。
- (5) 融合変換に必要な前処理を明らかにする。
- (6) 変換規則の洗練を行う。

## 4. 研究成果

理論として圏論が教えてくれる融合規則を実際に適用しようとする、融合規則が直接適用出来るようなプログラム形式へ持ち込む必要があり、この前処理はそれほど自明ではない。

データ構造のどのような traversal を融合変換の対象とするかについては、研究過程で、水平垂直両方の再帰 traversal を組化したものに対応する structural recursion に着目することで、structural recursion に対し既知の融合変換規則に持ち込む方法、その既知の融合変換自身を更に強力（効率的）なものに昇格させるために、融合変換と直接関係ないような、組の各成分関数呼び出しの有無の静的解析に基づく補助変換が有効かつ不可欠であることも示すことが出来た。

相互再帰関数の structural recursion への帰着は、大まかには多項式関手の抽出の過程に対応する。

インパクト：多段の合成が行われる場合の融合変換は規模の上でも挑戦的である。本研究ではソフトウェア工学でのモデル変換応用において二桁台の数の structural recursion の合成、これに対する二桁台の融合変換の適用もプロトタイプ実装を通じて行った。ソフトウェア工学でのモデル変換は変換の合成の出番が多いと予想される。変換として、入力の特定の位置に着目し操作を適用しそれ以外はそのまま出力するという変換が有用と考えられ(研究成果論文[9])、合成が多用されるためである。ソフトウェア工学での研究レベルでの適用のなかで、性能への具体的な影響も明らかになってきた。グラフ変換での融合変換はプログラム合成および変換に関連する国際会議 LOPSTR でも有用性を認められ発表が確定している。性能評価まで示したため、実用上のインパクトも期待される。融合変換の負の影響に関する知見も得られた。関数プログラミングが推奨する関数合成形式でのプログラミングは、structural recursion のような合成段数に対して指数サイズのデータを出力する構成では中間データの不要部分の動的な削除が実用上必須となるが、融合変換は structural recursion の連続適用を入れ子にする作用があり、その際に上記の最適化の機会を奪うため速度低下を招くことも分かった。

展望：再帰の抽出という観点と再帰の直接合成形式という「正規形」への変換という観点が重要であることがわかったが、どのようなクラスのサブセットならば恒に正規形に変換できる（＝融合変換が適用可能）といったことを明らかにすることが今後の課題である。また実行時最適化との干渉も明らかになったため、今後はこのような最適化との棲み分けに関する検討も必要である。

## 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 13 件)

- [1] Hiroyuki Kato, Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Keisuke Nakano, Yasunori Ishihara, Context-Preserving XQuery Fusion, GRACE Technical Report ( GRACE-TR-2010-07 ), 査読無, 1-21 (2010)
- [2] Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Kazuhiro Inaba, Hiroyuki Kato, Kazutaka Matsuda, Keisuke Nakano, Bidirectionalizing Graph Transformations, GRACE Technical

- Report, ( GRACE-TR-2010-06 ), 査読無, 1-17 (2010)
- [3] Kazuhiro Inaba, Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Hiroyuki Kato, Keisuke Nakano, Complete Validation of Graph Transformations, GRACE Technical Report ( GRACE-TR-2010-04 ), 査読無 1-27 (2010)
- [4] 加藤弘之、且高宗一郎、胡振江、中野圭介、石原靖哲、順序を考慮に入れた XQuery の融合変換、Web とデータベースに関するフォーラム(WebDB Forum 2009) 論文集、査読有、8p, 2009.
- [5] Hiroyuki Kato, Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Keisuke Nakano, Yasunori Ishihara, An Order-Sensitive Fusion for XQuery, GRACE TECHNICAL REPORTS ( GRACE-TR-2009-04 ), 査読無, 28p (2009)
- [6] Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Kazuhiro Inaba, Hiroyuki Kato, Kazutaka Matsuda, Keisuke Nakano, Bidirectionalizing Structural Recursion on Graphs, 日本ソフトウェア科学会第 26 回大会講演論文集、査読無, 18p, 2009.
- [7] Hiroyuki Kato, Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Keisuke Nakano, Yasunori Ishihara, An XQuery Fusion with Preserving Document Order, 日本ソフトウェア科学会第 26 回大会講演論文集、査読無、15p. 2009.
- [8] Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Kazuhiro Inaba, Hiroyuki Kato, Kazutaka Matsuda, Keisuke Nakano, Bidirectionalizing Structural Recursion on Graphs, GRACE TECHNICAL REPORTS (GRACE-TR-2009-03), 41p 査読無 (2009)
- [9] Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Hiroyuki Kato, Keisuke Nakano, Towards a Compositional Approach to Model Transformation for Software Development, Proceedings of the 2009 ACM symposium on Applied Computing, 査読有、468-475, 2009.
- [10] Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Hiroyuki Kato, Keisuke Nakano, A compositional approach to bidirectional model transformation, 31<sup>st</sup> International Conference on Software Engineering, 査読有、巻 Companion Volume, 235-238 (2009)
- [11] Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Hiroyuki Kato, Keisuke Nakano, Towards Compositional Approach to Model Transformations, GRACE TECHNICAL REPORTS (GRACE-TR-2008-02) 査読無 37p. (2008)
- [12] Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Hiroyuki Kato, Keisuke Nakano, An Algebraic Approach to Bidirectional Model Transformations, GRACE TECHNICAL REPORTS (GRACE-TR-2008-01) 査読無 14p. (2008)
- [13] Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Hiroyuki Kato, Keisuke Nakano, Towards Compositional Approach to Model Transformations, 日本ソフトウェア科学会第 25 回大会講演論文集、巻 CD-ROM、23p. 査読無 (2008)
- [学会発表] (計 25 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 (PPDP2011), Odense, Denmark, July 20-22, 2011. (発表確定)
- [2] Isao Sasano, Zhenjiang Hu, Soichiro Hidaka, Kazuhiro Inaba, Hiroyuki Kato, Keisuke Nakano, Toward bidirectionalization of ATL with GRoundTRam, 4<sup>th</sup> International Conference on Model Transformation (ICMT2011), Zurich, Switzerland, June 27-28, 2011. (発表確定)
- [3] 中野圭介、且高宗一郎、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、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9日-11日、北海道、定山溪ビューホテル
- [4] Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Kazuhiro Inaba, Hiroyuki Kato, Kazutaka Matsuda, Keisuke Nakano, Bidirectionalizing Graph Transformations, 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9日-11日、北海道、定山溪ビューホテル
- [5] Soichiro Hidaka, Marker-directed optimization of UnCAL graph revisited : Optimizing bidirectional graph transformations, The 4th DIKU-IST Joint Workshop on Foundations of Software, 2011年1月10日-14日、東京、浅草ビューホテル
- [6] Soichiro Hidaka, Working Group : Relationships between BX and View Updates (Proposal and Report),

- Dagstuhl seminar report, Bidirectional Transformations “bx”, Dagstuhl, Germany, January 16-21, 2011.
- [7] Soichiro Hidaka, Position Statement : Bidirectional Graph Transformations based on Structural Recursion, Dagstuhl seminar report, Bidirectional Transformations “bx”, Dagstuhl, Germany, January 16-21, 2011.
- [8] Hiroyuki Kato, Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Keisuke Nakano, Yasunori Ishihara, Context-Preserving XQuery Fusion, 8<sup>th</sup> ASIAN Symposium on Programming Languages and Systems (APLAS2010), Shanghai, China, November 28 - December 1, 2010.
- [9] Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Kazuhiro Inaba, Hiroyuki Kato, Kazutaka Matsuda, Keisuke Nakano, Towards State-based Interface to a Graph Roundtrip Transformation System GRoundTram (poster), 8<sup>th</sup> ASIAN Symposium on Programming Languages and Systems (APLAS2010), Shanghai, China, November 28 - December 1, 2010.
- [10] 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 (APLAS2010), Shanghai, China, November 28 - December 1, 2010.
- [11] Soichiro Hidaka, Providing State-based interface to a Graph Roundtrip Transformation System GRoundTram, 1<sup>st</sup> PKU-NII International Joint Workshop on Advanced Software Engineering, Beijing, China, October 9-10, 2010.
- [12] Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Kazuhiro Inaba, Hiroyuki Kato, Kazutaka Matsuda, Keisuke Nakano, Bidirectionalizing Graph Transformations, 15<sup>th</sup> ACM SIGPLAN International Conference on Functional Programming (ICFP2010), Baltimore, USA, September 27-29, 2010
- [13] Soichiro Hidaka, On the traceability in a graph roundtrip transformation system, Workshop on Bidirectional Transformation (BT2010) at GRACE International Symposium on Advanced Software Engineering 2010, 2010年3月15日-17日、東京、学術総合センター
- [14] Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Kazuhiro Inaba, Hiroyuki Kato, Kazutaka Matsuda, Keisuke Nakano, GRoundTram: A Bidirectional Graph Transformation System Based on Structural Recursion, Workshop on Bidirectional Transformation (BT2010) at GRACE International Symposium on Advanced Software Engineering 2010, 2010年3月15日-17日、東京、学術総合センター
- [15] 目高宗一郎、胡振江、稲葉一浩、加藤弘之、松田一孝、中野圭介、GRoundTram: 構造的再帰関数に基づく双方向グラフ変換システム, 第12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、2010年3月3日-5日、香川県、琴平温泉
- [16] 稲葉一浩、目高宗一郎、胡振江、加藤弘之、中野圭介、Sound and Complete Validation of Graph Transformations, 第12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、2010年3月3日-5日、香川県、琴平温泉
- [17] Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Kazuhiro Inaba, Hiroyuki Kato, Kazutaka Matsuda, Keisuke Nakano, GroundTram : A Bidirectional Graph Transformation System based on Structural Recursion, The 7<sup>th</sup> Asian Symposium on Programming Languages and Systems (APLAS2009), Seoul, Korea, December 14-16, 2009.
- [18] Hiroyuki Kato, Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Keisuke Nakano, Yasunori Ishihara, An Order-sensitive XQuery Fusion, The 7<sup>th</sup> Asian Symposium on Programming Languages and Systems (APLAS2009), Seoul, Korea, December 14-16, 2009.
- [19] Soichiro Hidaka, Design and implementation of the bidirectional interpretation engine in a graph roundtrip transformation system GRoundTram, 3<sup>rd</sup> International Workshop on Bidirectional Transformation in Architecture-Based Component Composition (Bi-Trans in ABC), Changsha, China, November 14-18, 2009.
- [20] Soichiro Hidaka, Bidirectional graph transformation based on structural recursion, The 26<sup>th</sup> GRACE Seminar on Advanced Software Science and Engineering, 2009年10月23日、東京都、国立情報学研究所 【招待講演】
- [21] Hiroyuki Kato, Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Yasunori Ishihara, Keisuke Nakano, Rewriting XQuery to Avoid Redundant Expressions based on Static Emulation of XML Store, 6<sup>th</sup> Asian

Workshop on Foundations of Software (AWFS2009), 2009年4月6日-8日、東京都、国立情報学研究所

- [22] Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Hiroyuki Kato, Keisuke Nakano, Bidirectionalizing Structural Recursive Transformation on Graphs (short presentation of ongoing work), 6<sup>th</sup> Asian Workshop on Foundations of Software (AWFS2009), 2009年4月6日-8日、東京都、国立情報学研究所
- [23] Hiroyuki Kato, Soichiro Hidaka, Zhenjiang Hu, Yasunori Ishihara, Keisuke Nakano, Rewriting XQuery to Avoid Redundant Expressions based on Static Emulation of XML Store, ACM SIGPLAN Workshop on Programming Language Techniques for XML, Georgia, USA, January 21-23, 2009.
- [24] Soichiro Hidaka, Bidirectional Interpretation of UnCAL Graph Algebra, 2<sup>nd</sup> International Workshop on Bidirectional Transformation in Architecture-Based Component Composition, 2009年1月5日-7日、神奈川、湘南国際村センター
- [25] Soichiro Hidaka, Bidirectional Graph Transformation using UnCAL, GRACE International Meeting on Bidirectional Transformations, 2008年12月15日-18日、神奈川、湘南国際村センター

[その他]

ホームページ等

成果の一部が組み込まれたグラフ変換システムは <http://www.biglab.org/> よりオープンソース形式で公開

## 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