

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：32675

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H04088

研究課題名(和文) データ変換の漸進的双方向化に関する研究

研究課題名(英文) A Study on Incremental Bidirectionalization of Data Transformations

研究代表者

日高 宗一郎 (HIDAKA, Soichiro)

法政大学・情報科学部・教授

研究者番号：70321578

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：双方向変換は、情報システムにおける重要な操作であるデータ変換において、その変換をこえて双方向に更新を伝播させるものである。既存の単方向変換全般を直ちに双方向化することは容易ではない。本研究は、双方向変換の柔軟な利用方法の開拓により、情報システムの漸進的頑強化を行なうことを目的とし、単方向変換を段階的に双方向化していく方式を開拓した。具体的には、継続研究中の単方向変換の双方向変換への部分翻訳に基づく漸進的双方向化における適用条件・手法の明確化、複製を伴う弱いラウンドトリップ性のある双方向変換における逆方向変換のアボートの緩和、単方向変換と双方向変換の合成の代数の構築をおこなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、双方向変換におけるラウンドトリップ性のような頑強性の指標となる振舞の良さが情報システムに非侵襲な形で徐々に浸透していく枠組の構築、つまり、情報システムを頑強な方向へ無理なく改善していく枠組の構築に資する。双方向変換の漸進的な導入をアドホックではなく系統的に行なう理論的枠組として、漸進的な双方向化が可能となる条件を、特に変換を多数用いている一般の情報システムにおいて、変換の合成パターンを網羅した上で、単方向変換を漸進的に双方向変換に置き換えていく状況で明確にした。

研究成果の概要(英文)：Bidirectional transformations are a mechanism to propagate changes over data transformations that are important operations in various information systems. It is not straightforward to holistically bidirectionalize existing unidirectional transformations at once. In this project, we have pioneered methods to incrementally bidirectionalize unidirectional transformations for the purpose of gracefully making information systems more robust. Specifically, we have clarified the application conditions and bidirectionalization methods in our ongoing work on translational approach to partial bidirectionalization of unidirectional transformations, proposed an approach to avoid aborts in backward transformations of a bidirectional transformation language with weaker round-tripping property due to duplicates in the language, and constructed an algebra to compose unidirectional and bidirectional transformations.

研究分野：プログラミング言語

キーワード：双方向変換 漸進的双方向化 データ変換 操作変換 競合解決 スパン合成 余スパン合成

1. 研究開始当初の背景

双方向変換(引用文献①)は、情報システムにおける重要な操作であるデータ変換においてその変換をこえて双方向に更新を伝播させるものである。双方向変換は、データベースなどの変換元からビューなどの変換先を生成する問い合わせのような順方向変換 `get` と、更新されたビューと更新前のデータベースから更新されたデータベースを生成するビュー更新のような逆方向変換 `put` により構成される。変換元の更新は `get` で新しい変換先を得ることによって変換先に伝えることができ、変換先の更新は `put` により新しい変換元を得ることで変換元に伝えることができる。

双方向変換は、更新の伝播の正しさを示す **well-behavedness** で特徴づけられる。この性質は、同じ値にまた「戻れる」という意味でラウンドトリップ性とも呼ばれる。標準的な **well-behavedness** は、ときには制限が強過ぎることもあり、一気に双方向化せずに、漸進的に双方向化を進めていくことも有効な手段である。

2. 研究の目的

この研究を通して、どのような状況で漸進的な双方向化が可能なのか、さらに、変換を多数用いている一般の情報システムにおいて、漸進的に双方向変換を導入していくにはどのような理論的枠組、道具立てが必要かという根本的な問いに挑む。本研究の長期的な目的は、双方向変換におけるラウンドトリップ性のような頑強性の指標となる振舞の良さが情報システムに非侵襲な形で徐々に浸透していく枠組の構築、つまり、情報システムを頑強な方向へ無理なく改善していく枠組の構築である。双方向変換の漸進的な導入をアドホックではなく系統的に行なう理論的枠組の構築を目指すところに学術的独自性がある。

3. 研究の方法

国際共同研究加速基金で行なった、単方向変換の双方向変換への部分翻訳に基づく双方向化は、翻訳部分を漸進的に増加させることで漸進的双方向化を達成するが、翻訳系そのものの性質などを含め、必要とされる性質を更に明らかにする。

Hu 等の、双方向変換に双方向変換の特殊な場合として単方向変換の結合子を埋め込む手法(引用文献②)を導入することで、段階的双方向変換が達成できることが原理的には期待できる。このアプローチに基づき、双方向変換と単方向変換のシームレスな統合のために必要な理論的条件や実装上の仕組みを明らかにする。具体的には、漸進的双方向化として、非対称双方向変換の合成が行われている状況における漸進的な双方向変換の導入について主に検討する。線形に合成されている様々な単方向変換において、それを非対称的双方向変換に漸次置き換える場合について考究する。

4. 研究成果

(1) 単方向変換の双方向変換への部分翻訳に基づく漸進的双方向化

共同執筆・投稿中の論文において、漸進的双方向化に必要なモジュール性のモデル変換リポジトリを用いた定量評価を行った。また、部分翻訳手法における単・双方向言語の出力分離可能性と双方向変換の性質に関する議論を行い、逆方向変換の結果単方向変換言語の出力に副作用があっても性質に影響しないことが確認できた。ユーザが直接操作するビュー上の更新から双方向変換エンジンへ伝える更新を抽出する演算について、対象とする更新の制限の明確化等の改善を行った。翻訳の健全性に関する議論を、翻訳の中で用いられている加法性や単方向言語の実行モデル、双方向変換言語の相互再帰の性質などの説明を用いて改善した。

(2) 複製を伴う弱いラウンドトリップ性のある双方向変換における逆方向変換のアボートの緩和

漸進的双方向化に伴って、単方向変換だけでは生じなかったエラーが、特に弱い双方向性しか備えていない双方向変換を導入した際に生じる。このエラーの原因について、言語構造を含む直接間接的な複製に基づき分析した。また、このようなエラーについて、順方向変換で生成されたトレース情報により事前にその可能性を察知し、避けることができていたが、複製の両方を更新した場合も一定の更新同志を合成することでエラーを防ぐことができる。本研究では、従来逆方向変換実行時にアボートさせていたケースについて、文書の共同編集に用いられてきた操作変換に基づき二つの更新を合成することにより、アボートを避け、更に、弱いラウンドトリップ性を達成できることを、木構造データについて既存の操作変換と双方向変換言語を例に示した。

(3) 単方向変換と双方向変換の合成の代数

二つの非対称型の双方向変換の合成は、順方向変換の向きの組み合わせにより、逐次（引用文献⑤）、余スパン（引用文献④）、スパン（引用文献③）の3通りがある。それぞれについて、その両方が単方向変換（ U ）の場合、片方が双方向（ B ）になった場合、両方が双方向になった場合、以下のように振る舞うことを示した。

表 1 単・双方向変換の合成規則

合成種類	合成の向き	更新可能点	合成結果	更新可能点
逐次	$\vec{U}; \vec{U}$	$\diamond \vec{U}; \vec{U}$	\vec{U}	$\diamond \vec{U}$
	$\vec{U}; \vec{B}$	$\diamond \vec{U}; \vec{B}$	\vec{U}	$\diamond \vec{U}$
	$\vec{B}; \vec{U}$	$\diamond \vec{B}; \vec{U}$	\vec{U}	$\diamond \vec{U}$
	$\vec{B}; \vec{B}$	$\diamond \vec{B}; \vec{B} \diamond$	\vec{B}	$\diamond \vec{B} \diamond$
余スパン	$\vec{U}; \vec{U}$	$\vec{U}; \vec{U}$	N. A.	N. A.
	$\vec{U}; \vec{B}$	$\diamond \vec{U}; \vec{B}$	\vec{R}	$\diamond \vec{R}$
	$\vec{B}; \vec{B}$	$\diamond \vec{B}; \vec{B} \diamond$	\vec{R}	$\diamond \vec{R} \diamond$
スパン	$\vec{U}; \vec{U}$	$\vec{U} \diamond \vec{U}$	N. A.	N. A.
	$\vec{B}; \vec{U}$	$\diamond \vec{B}; \vec{U}$	\vec{S}	$\diamond \vec{S}$
	$\vec{B}; \vec{B}$	$\diamond \vec{B}; \vec{B} \diamond$	\vec{S}	$\diamond \vec{S} \diamond$

表 2 更新可能点の合成規則

左側の更新可能点	右側の更新可能点	合成時の更新可能点
$\diamond T$	$\diamond U$	$\diamond T; U$
$\diamond T$	$U \diamond$	N. A.
$T \diamond$	$\diamond U$	$T \diamond U$
$\diamond T \diamond$	$\diamond U$	$\diamond T \diamond U$
$\diamond T \diamond$	$U \diamond$	$T; U \diamond$
$\diamond T \diamond$	$\diamond U \diamond$	$\diamond T \diamond U \diamond$

表 1 の「合成結果」の列は、どのような双方向変換を構成するかを示す。既存の組み合わせから対称性により結果が容易に推測できる $\vec{B}; \vec{U}$ などの組み合わせは省略している。矢印は、変換の向きを表す。非対称型双方向変換については、順方向変換の向きを表す。 R は余スパンから構成される対称型双方向変換（maintainer（引用文献⑥））、 S はスパンから構成される対称型双方向変換（対称レンズ（引用文献⑦））で、対称型の場合、更新伝播可能な方向を矢印で表している。どの位置で更新が受け入れられるかは、「更新可能点」の欄で、変換に付随する菱形で表現している。変換の両側から更新可能な場合は両側に、そうでない場合は片側についている。単独の場合は、 $\diamond \vec{U}$ 、 $\diamond \vec{B} \diamond$ である。表 2 に、更新可能点の合成規則を示す。合成の中間結果の部分が更新可能な場合は、構成要素の変換の間に菱形を挟めて表記している。菱形が片方にしかない場合は、菱形と反対の方向にしか伝播できないことを表している。

以下は、この推論規則の適用例である。

$$\vec{B}; \vec{U}; \vec{B}; \vec{B}; \vec{B}; \vec{B}; \vec{U} \diamond = \vec{S}; \vec{S}; \vec{U} \diamond$$

これはさらに、 $\vec{S}; \vec{S}; \vec{U} \diamond$ と置き換えられる。更新可能な箇所は右端のみである。

双方向変換の連環のなかでの単方向変換は更新伝播の弁のように位置付けられ、連環における位置によっては、1箇所存在するだけで更新可能位置の全体数に大きな影響を与える。このような単方向変換の双方向変換への置き換えは、本研究の目的であった、双方向性を段階的に強めてゆく具体的手法と位置付けることができ、双方向性の度合いの一つとして、更新可能位置の割合を指標とすることができる。

今後、双方向化率や、上述の更新可能ノードの割合、注目する一つの単方向変換を双方向化したときに更新可となるノード数、つまり双方向化率の微分のようなものなどの定量化にも取り組んでいきたい。

<引用文献>

- ① K. Czarnecki, J. N. Foster, Z. Hu, R. Lämmel, A. Schürr, and J. F. Terwilliger. Bidirectional transformations: A cross-discipline perspective. In International Conference on Model Transformation (ICMT 2009), pp.260–283. LNCS 5563, Springer, 2009.
- ② Z. Hu, S.-C. Mu, and M. Takeichi. A programmable editor for developing structured documents based on bidirectional transformations. Higher-Order and Symbolic Computation, 21(1-2):pp. 89-118, 2008.
- ③ M. Johnson, R. D. Rosebrugh, Spans of lenses, in: K. S. Candan, S. Amer-Yahia, N. Schweikardt, V. Christophides, V. Leroy (Eds.), CEUR@EDBT/ICDT, 2014, pp. 112–118.

- ④ M. Johnson, R. D. Rosebrugh, Cospans and symmetric lenses, in: S. Marr, J. B. Sartor (Eds.), Conference Companion of the 2nd International Conference on Art, Science, and Engineering of Programming, 2018, pp. 21–29.
- ⑤ J. N. Foster, M. B. Greenwald, J. T. Moore, B. C. Pierce, A. Schmitt, Combinators for bidirectional tree transformations: A linguistic approach to the view-update problem, ACM Transactions on Programming Languages and Systems 29 (2007) 17.
- ⑥ L. Meertens: Designing constraint maintainers for user interaction (1998). <http://www.kes-trel.edu/home/people/meertens>
- ⑦ M. Hofmann, B.C. Pierce, D. Wagner: Symmetric lenses. In: POPL, pp. 371–384 (2011)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Asano Yasuhito, Cao Yang, Hidaka Soichiro, Hu Zhenjiang, Ishihara Yasunori, Kato Hiroyuki, Nakano Keisuke, Onizuka Makoto, Sasaki Yuya, Shimizu Toshiyuki, Takeichi Masato, Xiao Chuan, Yoshikawa Masatoshi	4. 巻 1457
2. 論文標題 Bidirectional Collaborative Frameworks for Decentralized Data Management	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Software Foundations for Data Interoperability, SFDI 2021. Communications in Computer and Information Science	6. 最初と最後の頁 13 ~ 51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-93849-9_2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hidaka Soichiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Trace-based Error Prevention and Detection of Consistency Maintenance via Bidirectional Graph Transformations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 2020 IEEE 20th International Conference on Software Quality, Reliability and Security Companion (QRS-C)	6. 最初と最後の頁 87-90
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/qrs-c51114.2020.00025	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Habu Mikiya, Hidaka Soichiro	4. 巻 1457
2. 論文標題 Conflict Resolution for Data Updates by Multiple Bidirectional Transformations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Software Foundations for Data Interoperability. SFDI 2021. Communications in Computer and Information Science	6. 最初と最後の頁 62 ~ 75
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-93849-9_4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 仲野祐希, 日高宗一郎
2. 発表標題 双方向変換網における操作変換を用いた競合解決手法
3. 学会等名 情報処理学会第84回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 土生 樹也, 日高宗一郎
2. 発表標題 複数の双方向変換に対するデータ更新時の競合解決手法
3. 学会等名 情報処理学会第133回プログラミング研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 日高 宗一郎
2. 発表標題 トレースに基づく双方向変換の多方向化に向けたco-targetial compositionのための漸進化 (ポスター)
3. 学会等名 第22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
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	マシモ ティージ (Tisi Massimo)		
研究協力者	ジョールト フレデリック (Jouault Frederic)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

