

令和 5 年 4 月 14 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K11896

研究課題名(和文) プログラム変換に基づく漸増計算理論の構築

研究課題名(英文) Incremental Computing based on Program Transformations

研究代表者

森畑 明昌 (Moriyama, Akimasa)

東京大学・大学院総合文化研究科・准教授

研究者番号：10582257

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：同じ処理を異なる入力に対して何度も行うとき、前回の実行結果を活用することで次の実行が高速化できると望ましい。このような手法を「漸増計算」と呼ぶ。本研究課題では、パラメトリック多相型と呼ばれる関数型言語で広く使われている型に基づき、漸増計算を行うプログラムを系統的に導出する手法を提案した。その過程で、既存のパラメトリック多相型の証明手法の使いにくさを発見し、それを改善する手法も併せて与えた。さらに、漸増計算の具体的な応用例についてもケーススタディを行い、多次元配列を何度も走査するようなプログラムに対する漸増計算手法を与えた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の特色はパラメトリック多相型の理論に基づいている点にある。パラメトリック多相型は理論的成果を実用につなげやすいという長所があり、関数型言語のコンパイラでも最適化の基礎として利用されている。そのため、本研究成果は漸増計算に関する理論的成果であるが、これをコンパイラ最適化等で利用できる可能性があるという点で、実用に繋がらうものである。また、パラメトリック多相型の理論に基づいた手法を同様に開発する際のケーススタディとしても価値をもつ。

研究成果の概要(英文)：When the same computation is applied to several different inputs, it is hoped that the use of the previous results accelerates the current computation. Such a method is called incremental computing. This research project developed an incremental computing method. The method is based on parametric polymorphism, which is widely used in functional programming languages. The development also revealed the difficulty of the existing proof method based on parametric polymorphism, and another method that avoid the difficulty was proposed. In addition, this research project conducted a case study of applications of incremental computing. In particular, it developed a method of incrementalizing programs traversing multi-dimensional arrays many times.

研究分野：プログラミング言語

キーワード：漸増計算 多相型パラメトリシティ プログラム変換

1. 研究開始当初の背景

コンピュータでは、入力を少しずつ変更しながら何度も同じ処理を行うことが多い。プログラムのデバッグやテストは典型例である。高機能エディタはユーザの入力に従い刻一刻と変化する文書の構造を解析し、キーワードのハイライト等を行っている。また多くの web アプリケーションでは、データベースの内容を随時更新しつつ、それに応じてクライアントへの返答を継続的に作成している。このような場合、前回の処理結果を活用することで、今回の処理結果を高速に求めることができれば効率が良い。このような技術を**漸増計算 (incremental computing)** と呼ぶ。

漸増計算には様々な応用があるが、応用毎に個別に手法を開発するのは不経済である。しかし、応用によらない一般的な理論基盤は確立していない。漸増計算では、(A) 複雑な処理に対して対応可能であり、(B) 前回の入力と今回の入力の差分が特定の形式でなくても対応可能であり、(C) その性質や正しさが理論的に見通しがよい、という3つの要件が求められるが、これら3つを兼ね備えた手法は存在しない。例えば、古典的に有名な属性文法に基づく手法 [P95] や研究会開始当初の最先端であった Cai らの手法 [CDHA14] では、(A) を満たすが (B) を満たさず、(C) についても限定的である。また、研究代表者が比較的近年に発表した方法 [M18] は、(B) と (C) を満たすが、(A) については十分でない。

2. 研究の目的

本研究の目標は、漸増計算を考慮せずに記述したプログラムを漸増計算を行うプログラムへ変換するアプローチによって、一般的な漸増計算技法を与えることである。このアプローチは、特に (C) の観点からの長所を持ちやすく、既存の最先端の手法と直交するものとなることが期待される。

3. 研究の方法

Cai らの手法 [CDHA14] と研究代表者の手法 [M18] をを組み合わせることで一般化し、両者の長所を併せ持つ手法を構築することを目指す。このためには、研究代表者の手法の背景理論である多相型パラメトリシティ [R83] によって、Cai らの手法 [CDHA14] を再構築することが要点となる。

4. 研究成果

Cai らの手法 [CDHA14] を多相型パラメトリシティ [R83] の観点から再構築することは、部分的には成功し、複数の学会発表に至った [M19, M20]。これらの手法は、与えられたプログラムが特定の多相型を持ちさえすれば、ほぼ自動的に漸増計算プログラムが導出される。

しかし、この手法を発展させてゆく過程で、多相型パラメトリシティの既存の証明手法が当初の見込みほど強力ではなく、その結果期待していたほど理論的な見通しが改善しないことが危惧された。これの解決を目指し、多相型パラメトリシティでの証明手法の改善に取り組み、一定の成果を得た [M22]。この成果では、研究代表者の手法 [M18] を含む、多相型パラメトリシティに基づく方法に対し、特に対象となるプログラムが複雑な場合により簡単にその正しさや性質を確認する方法を与えている。

また、これと並行して、漸増計算の応用についてのケーススタディも行った。具体的には、多次元配列を何度も処理するような計算パターンについて、漸増化を用いて自動的に効率を改善する新しい手法を提案した [M21]。

研究成果一覧

- [M22] A. Morihata: Conjuring Fusion Laws via Relational Calculus. *J. Information Processing*, 31, 21-32, 2023.
- [M21] 松田知樹, 森畑明昌: 配列集約ループの実行時情報を用いた漸増化による効率化. *情報処理学会論文誌 プログラミング*, 14(5), 1-14, 2021.
- [M20] A. Morihata: Short Cut to Incremental Typed Functional Programs. In *Proc. WPTE 2020*, 2020.
- [M19] 森畑明昌: パラメトリシティに基づくプログラム微積分. *日本ソフトウェア科学会第36回大会講演論文集*, 24-L, 2019.

引用文献

- [P95] J. Paakki: Attribute Grammar Paradigms: A High-Level Methodology in Language Implementation. *ACM Computing Surveys*: 27(2), 196-255, 1995.
- [CDHA14] Y. Chen, J. Dunfield, M.A. Hammer, U.A. Acar: Implicit Self-Adjusting Computation for Purely Functional Programs. *J. Funct. Program.* 24(1): 56-112, 2014.
- [M18] A. Morihata: Incremental Computing with Data Structures. *Sci. Comput. Program.:* 164(15), 18-36, 2018.
- [R83] J.C. Reynolds: Types, abstraction, and parametric polymorphism. *Information Processing*. 513-523, 1983.

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Moriyama Akimasa	4. 巻 31
2. 論文標題 Conjuring Fusion Laws via Relational Calculus	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Information Processing	6. 最初と最後の頁 21 ~ 32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2197/ipsjip.31.21	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 松田 知樹, 森畑 明昌	4. 巻 14
2. 論文標題 配列集約ループの実行時情報を用いた漸増化による効率化	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌 プログラミング	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 1件）

1. 発表者名 森畑 明昌
2. 発表標題 パラメトリック多相型からの融合変換類規則の自動導出
3. 学会等名 日本ソフトウェア科学会第38回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akimasa Moriyama
2. 発表標題 Short Cut to Incremental Typed Functional Programs
3. 学会等名 WPTE 2020: 7th International Workshop on Rewriting Techniques for Program Transformations and Evaluation (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森畑明昌
2. 発表標題 パラメトリシティに基づくプログラム微積分
3. 学会等名 日本ソフトウェア科学会第36回大会
4. 発表年 2019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

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

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関