

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 5 月 15 日現在

機関番号：82646

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22650006

研究課題名（和文） 並列性忘却プログラミングに関する研究

研究課題名（英文） Parallelism-Oblivious Parallel Programming

研究代表者

武市 正人 (TAKEICHI MASATO)

独立行政法人 大学評価・学位授与機構 研究開発部・教授

研究者番号：10011165

研究成果の概要（和文）： 並列性忘却並列プログラミング(Parallelism-Oblivious Parallel Programming, POPP) の概念を明確化し、データ生成子(generator)を基礎にした Generator-based Programming を POPP の一つの枠組みとして提案してその有効性を確認した。

研究成果の概要（英文）： Our novel idea of Parallelism-Oblivious Parallel Programming (POPP) has been established and Generator-based Programming was proposed and verified as a general framework for the POPP style parallel programming.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,500,000	0	1,500,000
2011 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,400,000	270,000	2,670,000

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：並列プログラミング、プログラム言語、プログラミングパラダイム

1. 研究開始当初の背景

(1) 本課題の研究を開始する際の新規性は Parallelism-Oblivious Parallel Programming (並列性忘却並列プログラミング, POPP) の考え方にある。米国では 2002 年に DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) の IPTO (Information Processing Techniques Office) のもとで次世代 High Performance Computation (HPC) に向

けたプログラミング言語の提案公募を行って開発を開始し、2010 年に実現する方向で当初は 4 社がそれぞれ独自の研究開発を提案実施した。2 回の評価を経て、当時は 2 社が DARPA のもとで開発を行っていた。HPC に適応した言語とその支援システムは、逐次計算機向けの言語にライブラリを付加して並列プログラミングのための手段を提供するのが伝統的であり、Message Passing In-

terface (MPD)がその代表である。しかし、このような方法では、並列性を活かす場所をプログラマが指定することになり、並列性が有効に活かされるかどうかはプログラマの力量に委ねられている。上述の DARPA のプロジェクトでは、評価時の判断として、基本的には並列性がプログラマに委ねられる伝統的な枠組みを前提として開発が進められている。しかしながら、今後の並列プログラミングを考えると、プロジェクト提案がなされたものの、結果としては DARPA のもとで実施されなかったものに盛り込まれた技術にも注目すべきである。その一つとして、当時よりオープンソースプロジェクトとして実施されていた Sun Microsystems 社の Project Fortress を参考とした。本研究の視点はそれに刺激されたものではあるが、もちろんのこと先行提案を再提案しようというのではなく、われわれは2年間にわたる同社との Fortress に関わる共同研究の成果をもとに、その知見を活かして、新たな POPP 方法論の展開を目的とした。Project Fortress では、主として言語機能とシステムの開発に重点を置いていたが、われわれは Fortress プログラムとして効果的に並列化が実現されるプログラム構築法を実証的に追究することを考えた。われわれのスケルトン並列プログラミングの成果は、POPP の一つの手法である Generator-based Programming によって、すでに Fortress のライブラリに組み込んで公開したが、さらに利用者にとって有用な POPP 手法を提案・評価して、実用的な利用に備えるという考えであった。もちろん、POPP は Fortress に限るものではないので、併行して C++等の既存の他の実用的言語による実現法も検討することを企図した。

上述のように、われわれは本課題の基本構想の一部となる代数構造に着目した並列ラ

イブラリの開発に関して Sun Microsystems 社と共同研究を実施した。プログラミング言語の設計から実現にいたる研究には長期的な展望と開発力が必要である。残念ながら、わが国ではこのような研究が少なくなってきた。とくに、実用面での効果を早期に求める並列プログラミングに関する目標設定も短期的なものになりがちで、本質的な方法論による解決を目指した挑戦的な研究はまれである。本研究は長期的な POPP の研究に先立ちその基礎を追究しようとしたもので、その方法論の実証のためにはコンパイラ等の環境を用意する必要がある。しかし、研究面で先進的な課題の目的を達成するための戦略として、本研究ではそれらを開発する時間と経費の節減のために、現時点で利用可能な C++や Fortress の実験環境を用いることとし、実証評価の後にあらためて POPP 環境の設計を行うこととした。

(2) 本提案の研究課題を推進して、POPP の方法論が確立されると、並列計算機向けのプログラムに個別的な並列性の記述は含まれることはなくなり、抽象度の高いアルゴリズムを自然に記述したプログラムを蓄積することができるようになると期待できる。これにより、今後、開発が予想される高度に並列度の発達したプロセッサや階層化の進んだメモリ構造を備えた並列計算機向けに蓄積されたプログラムを改訂するといった作業負担の問題が解決され、プログラムの持続的な活用が可能となる。こうして、計算科学の研究者・技術者は計算機構の並列性を意識することなく対象のモデル化に集中して、多方面で新たな計算的手法の展開を図ることができるようになると期待した。

2. 研究の目的

並列プログラミングの方法論を“並列性忘却プログラミング(POPP)の視点から追究す

る”ことが目的である。並列性の活用は最近の計算的手法に関わる大きな課題であるが、プログラマがそのときどきの並列計算機に対処している現状は抜本的な解決策にはならず、むしろ、これを続けることは負の遺産を残しかねない。この課題の解決のためには、今後も出現が予想される多様な計算機に対しても有効な信頼性の高いプログラミング手法を確立する必要がある。POPPは、各分野の研究者・技術者が対象とする問題のモデル化に注力して、“並列性を意識することなく”今後の並列計算機においても持続的に利用できるプログラムを開発し蓄積することを目指すものである。本研究では、POPPの枠組みを提案するとともにその有効性を実証しようとしたものである。

科学技術のさまざまな分野で計算的手法が展開されるなかで、計算機構とアルゴリズムを系統的に扱う計算機科学(Computer Science)と、解明しようとする現象に計算的手法を適用する計算科学(Computing Science)とが分離している現状は、残念ながら認めざるを得ない。現状では、計算機科学における並列プログラミングに関わる先端的成果が計算科学におけるプログラム開発の技術へ十分に移転されていない面がある。

計算的手法を用いる各分野では、多様な問題を解くためのプログラムの蓄積が極めて急速に進んでおり、次々に開発される並列計算機のアーキテクチャに合わせたそれらの改訂に追われている。各分野で計算的手法が発展し、蓄積されるプログラムが増加すればするほどそれらを維持してゆくコストが倍加してゆくという技術上のディレンマが生まれることになる。維持コストのためにプログラムを持続的に使い続けることができなくなって、プログラムの蓄積が負の遺産となりかねない。このような問題点は従来から指

摘されてきていることではあるが、抜本的な解決策は講じられていない。その理由の一つは、伝統的な逐次計算機向けのプログラミング言語で記述して、並列性の部分をライブラリで補うという場当たりの対処によって並列プログラムを開発してきたことにある。将来にわたってこれを繰り返すことなく抜本的な解決を得るためには、現在、もはや一般的になった並列計算機を対象としたプログラミング言語を基礎に置いた方法論を確立する必要がある。これがまさに研究成果をさまざまな分野の研究の礎として提供しようとする計算機科学の新たな視点である。

われわれは並列プログラミングに関して、スケルトン並列プログラミング(skeletal parallel programming)の研究を進めてきた。これは、アルゴリズムの代数構造に着目して、並列計算のパターンを抽象化したスケルトンをライブラリとして用意するものであり、実用的ライブラリ SkeTo を開発し公開している(<http://www.ipl.t.u-tokyo.ac.jp/sketo/>)。さらに、約2年間にわたるプログラミング言語 Fortress に関する共同研究で代数構造に基づくライブラリを開発してこれも公開している。これらの研究を通じて、POPPの考え方により、今後の並列プログラミングのあり方を追究することが重要であるとの認識に至った。

本研究は、今後の並列計算機環境に向けてプログラム開発手法を抜本的に改革し、科学技術のさまざまな分野で展開される計算的手法の技術開発基盤を追究するものである。そこでは、研究者・技術者は計算機構の並列性を意識することなく、それぞれの分野における対象のモデル化に注力して自然な形でモデルを表現すればよい。並列計算機のアーキテクチャの変化に対してもプログラムを改訂する必要がなく、持続的なプログラムの

蓄積を図ることができるようになる。もっとも、本課題の研究期間内に POPP の実用的システムを構築できるわけではない。コンパイラ等のプログラミング環境の整備には相応の研究開発が必要である。本研究は POP の方向づけを行うために、試験的なシステムを用いて実証的に POPP の有効性を評価・検証することを目的とした。

3. 研究の方法

本課題の研究は平成 22 年度と 23 年度の 2 年間で実施した。平成 22 年度には、われわれのこれまでの並列プログラミングに関する研究成果をもとに、POPP の立場から、従前の手法による並列化手法、およびスケルトン並列プログラミングを評価した。また、併行して、逐次プログラムにおける代表的なプログラム構築法である分割統治法、動的計画法、バックトラッキングなどの手法を、POPP の一つの枠組みと考えられるデータ生成子(generator)を基礎にした Generator-based Programming に集約する方法を検討することとした。平成 23 年度には、22 年度の成果をもとに、他の枠組みも含めて具体的に POPP の手法を評価して実用的規模のプログラムに対してその方法論を適用するための新たな方向づけを行うこととした。

4. 研究成果

平成 22 年度には、これまでの並列プログラミングに関する研究成果をもとに、POPP の立場から、従前の手法による並列化手法、およびスケルトン並列プログラミングを評価した。また、併行して、逐次プログラムにおける代表的なプログラム構築法である分割統治法、動的計画法、バックトラッキングなどの手法を、POPP の一つの枠組みと考えられるデータ生成子(generator)を基礎にした Generator-based Programming に集約

する方法を検討した。プログラムの実行にかかる実証実験は、関数プログラミング言語 Haskell の GHC システム、および、Project Fortress で提供されている Fortress 処理系を用いた。

平成 23 年度には、22 年度の成果をもとに、POPP の立場から、従前の手法による並列化手法、およびスケルトン並列プログラミングを評価した。また、併行して、逐次プログラムにおける代表的なプログラム構築法である分割統治法、動的計画法、バックトラッキングなどの手法を、POPP の一つの枠組みと考えられるデータ生成子(generator)を基礎にした Generator-based Programming に集約する方法を検討した。プログラムの実行にかかる実証実験を関数プログラミング言語 Haskell の GHC システムを用いてその有効性を確認した。

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 2 件)

- ① 森畑明昌, 松崎公紀, 武市正人. 領域限定言語に基づく最適経路問合せ (Optimal Path Querying based on a Domain-Specific Language), 情報処理学会論文誌 プログラミング第 4 巻, 2011, pp.1-18.
- ② Yingfei Xiong, Hui Song, Zhenjiang Hu, Masato Takeichi. Synchronizing Concurrent Model Updates Based on Bidirectional Transformation. Software and Systems Modeling (Online First), 2011

[学会発表] (計 1 件)

- ① Kento Emoto, Zhenjiang Hu, Kazuhiko Kakehi, Kiminori Matsuzaki, Masato Takeichi. Generators-of-generators Library with Optimization Capabilities in Fortress, 16th International European Conference on Parallel and Distributed Computing, Aug. 31-Sept. 1, 2010, Ischia, Italy.

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

武市 正人 (TAKEICHI MASATO)

(独) 大学評価・学位授与機構 教授

研究者番号：10011165

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

胡 振江 (HU ZHENJIANG)

国立情報学研究所・教授

研究者番号：50292769

松崎 公紀 (MATSUZAKI KIMINORI)

高知工科大学・准教授

研究者番号：30401243

江本 健斗 (EMOTO KENTO)

東京大学・助教

研究者番号：00587470