

TSUBAME 共同利用 平成29年度 学術利用 成果報告書

利用課題名 先進的ステンシルコード技術
英文: Advance Stencil-Code Engineering

利用課題責任者
千葉 滋
Shigeru Chiba

所属
東京大学 情報理工学系研究科創造情報学専攻
Grad. School of Information Science and Technology
The University of Tokyo
<http://www.csg.ci.i.u-tokyo.ac.jp>

邦文抄録(300 字程度)

高度なステンシル計算のためのドメイン専用言語 (DSL) の開発を行い、その実行時性能を検証するため、NAS Parallel Benchmark の CG, LU 相当のプログラムを DSL で書き、TSUBAME 上で元の Fortran によるプログラムと実行時性能の比較をおこなった。本研究課題は JST CREST/独 DFG による日独共同研究 SPPEXA の ExaStencil プロジェクトの中で実施している。ExaStencil プロジェクトで開発している ExaSlang の性能測定の一部も TSUBAME 上でおこなった。さらに DSL の実行基盤として分散システムの資源管理システムの研究もおこなった。具体的には Hadoop のオリジナル実装を MPI 環境で効率よく動かすための研究を TSUBAME をテストベッドとしておこなった。

英文抄録(100 words 程度)

We have developed a domain specific language (DSL) for high-performance stencil computing and examined its execution performance on TSUBAME by writing equivalent programs in that DSL to NAS Parallel Benchmark CG and LU. This work was performed under the ExaStencil project of the joint research program SPPEXA of JST CREST and German DFG. Part of the performance evaluation of the ExaSlang language developed in the ExaStencil project was also conducted on TSUBAME. Furthermore, we also studied a distributed resource management system for the execution environment of DSLs. We used TSUBAME to study an efficient MPI-based execution platform for the original implementation of Hadoop.

Keywords: domain specific languages, reflection, deep reification, stencil computing, Java.

背景と目的

ステンシル計算は多くの科学技術分野で頻繁に使われる計算でこれまでも様々なドメイン専用言語やライブラリが開発されてきた。一方で、ドメイン専用言語はせまい応用範囲 (ドメイン) のために新規にコンパイラやライブラリ、開発環境を整備しなければならない、開発コストの大きさが課題である。ドメイン専用言語の開発コストという課題を解消する手法として注目されているのが埋め込み型ドメイン専用言語 (Embedded Domain Specific Languages) と呼ばれる手法である。この手法では、ドメイン専用言語は汎用プログラミング言語 (ホスト言語とよ

ぶ) のライブラリとして実装される。ライブラリではあるが、そのライブラリを用いた書かれたホスト言語のプログラムが、あたかも専用の言語で書かれたかのように見えるよう、ライブラリのプログラミング・インタフェースを注意深く設計する。しかし、埋め込み型ドメイン専用言語は、ホスト言語のライブラリであるが故に、開発コストが比較的小さくできるが、実行時性能は必ずしも満足いくものではなかった。そのドメイン固有の実行時性能最適化技法などの適用が難しくなりがちだからである。

本研究課題は、最新のプログラミング言語の技術を適用することで、高い実行時性能をもつ埋め込み

型ドメイン専用言語の開発手法を明らかにすることを狙っている。昨年度に引き続き、ホスト言語に Java 言語を用いたドメイン専用言語を開発するためのプラットフォーム Bytespresso の開発を中心に、TSUBAME を用いて研究をおこなった。

概要

Bytespresso を用いた簡単なステンシル計算向けドメイン専用言語の性能測定については昨年度に実施し、良好な結果を得た。本年度はステンシル計算に限らずより一般的なドメイン専用言語を作成した場合の性能を実験するため、NAS Parallel Benchmark の中から CG と LU を選び、これを記述するためのドメイン専用言語を Bytespresso を用いて開発し、実際にベンチマークと等価なプログラムを作成し、この性能測定を実施した。特に CG のためには行列およびベクトル演算を MPI 環境で実行するためのドメイン専用言語を新たに開発した。このため、このドメイン専用言語を用いて書き直した CG プログラムは、ベクトルや行列オブジェクトを用いた抽象的な記述になっており、元の Fortran によるプログラムに比べて注釈行を含んだ状態で 30%ほど行数が減少している。

本研究課題は JST CREST/独 DFG による日独共同研究 SPPEXA の ExaStencil プロジェクトの中で実施している。このプロジェクトでは、内部 DSL だけでなく外部 DSL の研究開発もおこなっており、ステンシル計算のための外部 DSL を Scala 言語で開発している。ExaSlang と呼ばれるこの外部 DSL の GPU 搭載スーパーコンピュータ上での実行時性能を TSUBAME を用いて評価した。

加えて、Java 言語で実装された分散処理フレームワークである Hadoop をスーパーコンピュータ上で効率よく動かすための研究を TSUBAME 上でおこなった。通常 Hadoop のようなシステムは各計算ノードにローカルディスクを備えた PC クラスタシステムで動かすが、現在運用中の典型的な大規模スーパーコンピュータでは計算ノードにローカルディスクを備えていないことが多い。このため、Hadoop をそのまま典型的なスーパーコンピュータ上で動かすと、ネットワーク上のファイルサーバのディスクを

ローカルディスクのように用いてしまい、著しく効率が悪い。これを避けるためには各ノードのメモリを用いて仮想ディスクを実現すればよいが、各ノードの資源をどのように仮想ディスクに振り向ければ良いかの研究をおこなった。研究のテストベッドに、各ノードに SSD をローカルディスクとして備える TSUBAME を利用することで、各ノードのローカルな物理ディスクを用いる Hadoop の元の実行方法を含め、様々な資源管理方式を比較実験した。

結果および考察

Bytespresso で実装したドメイン専用言語で書いた NAS CG と LU の性能を TSUBAME 3.0 で測定した。コンパイラとしては GCC 4.8.5 を用い、OpenMPI をライブラリとして用いた。各ノードで 8 MPI プロセスを実行する設定の下、ノード数を 4, 8, 16, 32, 64 と増やして実験したところ、CG では元の Fortran プログラムとほぼ同等の性能を得た。クラスは C である。一方、LU の場合は 10%から 20%の性能低下が見られた。LUについてはクラス Cと Dで実験をおこなった。これらの結果の詳細は今後出版予定である。

Hadoop の実装方式に関する実験は TSUBAME 2.5 上で実施し、結果は Thanh-Chung Dao and Shigeru Chiba, SEMem: Deployment of MPI-Based In-Memory Storage for Hadoop on Supercomputers, Euro-Par 2017, Springer, pp. 442-454, 2017 にて公表した。

まとめ、今後の課題

本研究課題では、我々が研究開発した Bytespresso、ExaSlang、Hadoop のスーパーコンピュータ上での実行方式の実効性を確かめるため、TSUBAME を用いた性能測定をおこなった。おおむね望ましい性能を観察することができた。なお Bytespresso を用いて開発したドメイン専用言語で書き直した NAS LU ベンチマークの実験では、元の Fortran 版の LU ベンチマークのプログラムが TSUBAME 上で動作せず、segmentation fault で終了するという現象を観察した。これは実験当時 TSUBAME 3.0 が稼働開始直後で十分に安定していなかったためと思われる。