

# 平成 25 年度 卒業研究報告書概要

|                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |  |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
| 課程, 学籍番号, 氏名      | 課程: 電気・電子情報工学課程, 学籍番号: B123281, 氏名: 宮城 雄介                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |  |  |
| 工学分野名: 情報通信システム分野 | 指導教員名: 市川 周一, 藤枝 直輝                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  |  |
| 題 目:              | HPC プログラミング技法のための教育資料の開発<br>(Development of the educational material for HPC programming techniques)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |  |  |
| Abstract          | <p>The architecture and performance of microprocessors evolved remarkably for these years. To obtain higher effective performance from these processors, more programming techniques are required. In this study, I develop an educational material to learn fundamental techniques in HPC programming. Matrix-matrix multiplication of square matrices was adopted for demonstration. With a straight-forward implementation, the derived performance was 1.8 Gflops, which is 1.6 % of the theoretical performance of target CPU (Core i7 3770). After applying various speed-up techniques, the performance was improved up to 50 Gflops, i.e. 45 % of the theoretical performance. I prepared educational material based on these results, which will be available online, in the TUT Programs on Advanced Simulation Engineering.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |  |
| 概 要               | <p>近年 CPU の性能向上は著しい。2013 年現在の PC 用 CPU は、20 年前に世界一の性能を誇ったスーパーコンピュータに匹敵する浮動小数点演算性能を持っている。しかし実際のプログラムでその性能を発揮するためには、CPU の内部構造を活用するためのプログラム技術が必須となる。</p> <p>本研究の目的は、高性能計算 (HPC) プログラムにおける高速化手法を習得するための教育資料を開発することである。N 次正方行列の乗算を題材に、ループ交換や SIMD 命令の使用、マルチスレッド化といった様々な手法を適用し性能の向上を検証した。その結果を元に、CPU の内部構造の解説も交えた教育資料を開発した。</p> <p>Intel Core i7 3770 の環境において、行列積のプログラムを単純に実装した場合、ピーク性能は 1.8 Gflops となった。これは理論性能のわずか 1.6 % である。これに様々な高速化技法を適用した場合の性能変化を検証した。</p> <p>ループ交換は、多重ループの順序を交換する手法である。ループ内で 2 次元配列にアクセスする際、列アクセスを行うとキャッシュの利用効率が落ちて性能が低下する。ループの順序を入れ替えて行アクセスを行うように変換すると、ピーク性能が 2.2 Gflops に向上し、更に N の大きい領域において性能が改善された。</p> <p>SIMD 命令は、複数の値を持つレジスタに対して加算や乗算等の演算を行う命令である。Core i7 3770 では、AVX と呼ばれる拡張命令群が使用できる。AVX は 256 bit のレジスタに対する演算を行う。このレジスタに 4 個の倍精度浮動小数点数を格納し、1 個の演算命令を同時に適用することが可能である。通常の演算命令と AVX の演算命令のスループットは同一であることから、理論上は性能を 4 倍にすることができる。実測すると、通常命令を使用した場合と比較して最大 3.7 倍の性能になり、ピーク性能は 7.6 Gflops に向上した。</p> <p>マルチスレッド化は、処理を複数のスレッドに分割し、複数のコアに分散させる手法である。Core i7 3770 はクアッドコアであることから、マルチスレッド化を行うと理論上は性能を 4 倍にすることができる。マルチスレッド化には OpenMP を使用した。OpenMP では、通常のソースコードに指示文を記述することで並列化する。行列積を行う 3 重ループの最外ループで並列化を行なった結果、シングルスレッドとの性能比は最大 3.9 倍となり、ピーク性能が 29 Gflops に向上した。</p> <p>この他にループアンローリング等を組み合わせることで、ピーク性能 50 Gflops を達成した。これは、理論性能の約 45% の性能であり、ライブラリを使用した場合の約 50% の性能となった。</p> <p>これらの結果をまとめ、計算機アーキテクチャ面からの解説も加えた教育資料を構築した。この資料は次世代シミュレーション技術者教育プログラムの教材開発プロジェクトの 1 つとして Moodle でオンライン教材化され、本年度中に公開される予定である。</p> |  |  |

発表する際の課程を記入

電気・電子情報工学

課程

発表番号

89

(学籍が他課程所属の学生も発表する課程を記入すること)