

分散機械学習技術を用いた大規模医用画像処理の実現に向けた研究

大島 聡史（名古屋大学）

概要

医用画像処理は機械学習技術によって近年急速に高速化・高精度化が進んできた研究分野である。その背景として高速な機械学習処理を行うことができる GPU の普及が大きく貢献している一方、GPU に搭載されたメモリ量が少ないことが大規模な問題を解く際には問題となっている。そのため、今日では複数の GPU や複数の計算ノードを用いた分散機械学習の研究が進められている。そこで本研究では、スーパーコンピュータを用いた医用画像処理の実現に向けて研究を実施した。予期せぬ問題により達成できなかったことも多いが、対象アプリの一つである PET 画像の再構成では 1GPU 実行ながら本研究実施前と比べて全体で 3.76 倍の速度向上を達成した。

1 共同研究に関する情報

1.1 共同研究を実施した拠点名

東京大学 名古屋大学

1.2 共同研究分野

■超大規模データ処理系応用分野

1.3 参加研究者の役割分担

- 大島 聡史（名大）（代表）研究総括、最適化実装
- 小田 昌宏（名大）（副代表）アプリケーションコードと知識の提供
- 森 健策（名大）アプリケーションコードと知識の提供
- 本谷 秀堅（名工大）アプリケーションコードと知識の提供
- クグレ マウリシオ（名工大）アプリケーションコードと知識の提供
- 片桐 孝洋（名大）プログラム最適化への

協力

- 埜 敏博（東大）Reedbush 最適化プロミン
グへの協力
- 森下 誠（名大）プログラム最適化補助
- 山梨 祥平（名大）プログラム最適化補助
- 杉浦 拓未（名大）プログラム最適化補助

2 研究の目的と意義

医用画像処理は機械学習技術によって近年急速に高速化・高精度化が進んできた研究分野である。その背景として高速な機械学習処理を行うことができる GPU の普及が大きく貢献している一方、GPU に搭載されたメモリ量が少ないことが大規模な問題を解く際には問題となっている。そのため、今日では複数の GPU や複数の計算ノードを用いた分散機械学習の研究が進められている。

我々の研究グループも GPU による機械学習

を用いた複数の医用画像処理アプリケーションの開発を行っている。これらは既に多くの成果をあげている一方、GPU に搭載されたメモリ量が少ないことによる制限も多い。そのため、分散機械学習技術によるメモリ量の問題の解決への期待は大きい。

そこで本提案研究では、分散機械学習技術により我々の医用画像処理アプリケーションの大規模問題への対応を進めることで新たな科学的成果を得ることを目指し、分散機械学習技術の適用と性能評価および学習モデルの改善を行う。主な対象アプリケーションは以下の 2 つとする。

- 対象アプリ 1：CT ボリュームデータの領域分割・対応付け
- 対象アプリ 2：PET 画像の再構成

医療画像処理技術の発達により、生体の内部を視覚的に理解するための様々な方法が実用化されている。例えば CT や MRI は既に広く普及し不可欠のものとなっているが、それらの装置により直接的に得られるものは画像や映像であり、症状の特定などは人間（医師など）が行う必要がある。少子高齢化や地方の過疎化などにより医師不足や患者増加が進み、一方で医療技術の高度化や個別化医療の需要が高まる今日、機械学習技術を用いた医用画像処理などソフトウェアによる医療支援への期待は大きい。ゆえに、本提案研究が目的としている各アプリケーションの抱える課題の解決は科学的にも実用的にも大きな意義がある。

一方、分散機械学習技術は近年急速に発展を遂げており、様々な分野でその成果が報告されている。機械学習フレームワークの分散機械学習対応も進んでいるため、機械学習を用いた既存のプログラムの分散計算環境対応そのものは困難ではない。しかし、高い学習率やスケーラ

ビリティを得るためにはアプリケーション個別の最適化が必要であり、大いに研究の余地がある。さらに、名古屋大学情報基盤センターにて調達が進んでいる（申請当時）次期システムには多数の GPU を搭載し大規模な分散機械学習研究に適した Type II サブシステムが含まれており、これを活用した研究の準備としても本提案研究は大きな意義がある。

3 当拠点公募型研究として実施した意義

今日、機械学習研究の多くは演算性能（計算時間）の優位性から GPU を搭載した計算機環境で実施されており、我々の研究グループも GPU を活用している。しかし大規模な機械学習研究を行うのに十分な計算資源を我々は有していない。そこで拠点公募型共同研究として提案し計算資源を確保した。

また、対象アプリ群は参加研究者らが独自に有する計算機環境で開発してきたものであり、共有のスーパーコンピュータ環境で実行した実績がない。今後さらに大規模医用画像処理の活用を活用していくには共有のスーパーコンピュータ環境における利用経験は非常に重要である。さらに、医用画像処理分野におけるさらなるスーパーコンピュータの活用促進という点でも意義があると考えられる。

4 前年度までに得られた研究成果の概要

（新規課題のため該当せず）

5 今年度の研究成果の詳細

本研究は新規課題であり、これまでスーパーコンピュータで実行したことのない（開発者のローカル環境でしか動作実績がない）プログラムを用いた研究であるため、さらに新規稼働

のスーパーコンピュータシステム (名古屋大学スーパーコンピュータ「不老」) を利用したため、まずプログラムを正しく動作させることに多くの時間と労力が割かれた。特に課題となった点としては、ローカルの Docker 環境で動作させていたプログラムをスーパーコンピュータの Singularity 環境で動かす経験がなかったこと、Reedbush-H の有する GPU に搭載されたメモリ量が 16GB と少ないため 32GB の環境向けに開発されたデータが利用できなかったこと、そして「不老」Type I サブシステムでは十分な機械学習環境が整わなかったことがあげられる。なお、測定対象プログラムの整備が整った年度末には Reedbush-H が非常に混雑しており、プログラムの実行がほとんど行えなかったことをつけ加えておく。

そこで、「不老」はサブシステム間で利用ポイントが共通であることを利用し、「不老」Type II サブシステムを主に利用して研究を実施した。ただし運用初期の「不老」Type II サブシステムではコンテナ環境を用いて機械学習を行うための情報が明らかに不足していたため、研究代表者かつ「不老」の運用に関わっている大島がシステム構築ベンダとも相談して環境の整備を行った。その結果、ローカル環境では Docker 環境で実行していたプログラムが「不老」の Singularity 環境で問題なく実行可能となり、またその過程で得られた多くの情報は「不老」の公開資料や講習会資料に反映された。

対象アプリ 1 の「CT ボリュームデータの領域分割・対応付け」については、対象問題に固有のいくつかのパラメータを変更しながら多くのデータを取得することができた。結果的には期待通りの結果を得るには至らなかったものの、この実行の過程において、初めてスーパーコンピュータ上で分散機械学習実行を行ったことでローカル環境では生じなかった/気がつかな

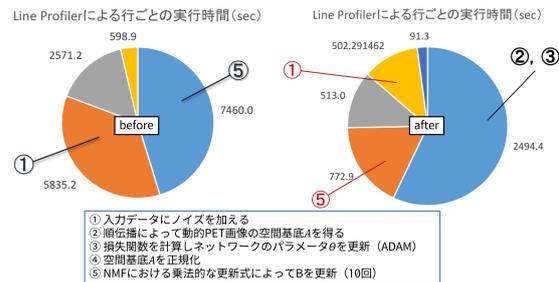


図 1 PET 画像の再構成、実行時間内訳

かったプログラムの問題を発見することに貢献した。

対象アプリ 2 の「PET 画像の再構成」については、実行時間の分析を行い、高速化に取り組んだ。その結果、1GPU 環境での実行において大幅な性能向上を得た。具体的には、オリジナル版 (ローカル環境で実行していたプログラム) に対してスーパーコンピュータ上で性能分析を行った結果、図 1(左) のように一部の処理が多くの実行時間を占めていることが判明した。そこで、GPU 化されていなかった部分の GPU 化を行い、また TensorFlow の使い方が非効率的であった部分の最適化を行った結果、プログラム全体で 3.76 倍という大幅な速度向上が達成できた。これにより高速化後の実行時間割合は図 1(右) のようになり、実行時間の多くを占めていた処理 (図中の 1 と 5) の割合は小さくなった。その後は新たに大きな割合を占めることになった部分 (図中の 2,3) の高速化を検討するとともに、より大規模な問題や分散機械学習対応について検討を行っている。

さらに、医用画像処理分野におけるさらなるスーパーコンピュータの活用に向けて、元々は対象アプリとしてあげていなかった 2 つの医用画像処理アプリケーションについても検討を行った。これらのアプリケーションは機械学習技術を用いているものではないが、計算量が多く実行時間がかかる医用画像処理アプリケー

ションであり、次年度以降の展望に向けた検討の意味を含んでいる。

1 つは、2 つの臓器間の微分同相写像を求める Large Deformation Diffeomorphic Metric Mapping (LDDMM) プログラムのマルチ GPU 対応である。従来から開発していた GPU 向けプログラムのマルチ GPU 対応を行い、性能評価結果を HPC 研究会にて報告した。

もう 1 つは病理顕微鏡画像の三次元再構成を行う Trajectory-based Non-linear Registration (TNR) プログラム、大量の画像に対してテンプレートマッチングなどを行うプログラムである。画像の枚数や容量が多く長い時間を必要とし、その一方で並列化が全く行えておらず、スーパーコンピュータを利用することで大きく性能が向上する期待が持てるアプリケーションである。まだ具体的な成果はないが、完全逐次である対象プログラムの並列化について検討を開始した。

6 今年度の進捗状況と今後の展望

成果の詳細に示したとおり、両対象アプリともに一定の成果は得られたものの、多くの困難に直面し、達成できていないことが多い。

対象アプリ 1 については、マルチ GPU・マルチノード環境を活用することで様々なパラメタに対する実行を高速に行うことができた。一方でスケーラビリティの改善や学習モデルの改善までは至らなかった。

対象アプリ 2 については、シングル GPU 実行の段階ではあるが、プログラムの最適化を行うことで実行時間の大幅な削減を達成したことは大きな成果である。大規模問題や複雑な問題などさらなる成果に向けた検討を進めており、次年度はそれらの課題に取り組んでいく予定である。

実施期間中に新たな対象課題として追加す

ることとしたアプリケーションについては、LDDMM についてはマルチ GPU に対応し対外発表を行ったことで当面の目標を達成した。TNR については、オリジナルの完全逐次プログラムに対する並列化に取り組みはじめた。TNR は 2021 年度の継続課題における主な対象プログラムの 1 つに含めており、大規模並列実行による大幅な実行時間削減を目指す予定である。

7 研究業績一覧（発表予定も含む）

学術論文（査読あり）

国際会議プロシーディングス（査読あり）

国際会議発表（査読なし）

国内会議発表（査読なし）

1. 大島聡史, 小田昌宏, 片桐孝洋, 森健策: 名古屋大学スーパーコンピュータ「不老」における医用画像処理, 電子情報通信学会 医用画像研究会, 技報 MI2020-32(2020-09), pp.69-74, 2020.
2. 杉浦拓未, 大島聡史, 片桐孝洋, 横田達也, 本谷秀堅, 永井亨: 医用画像処理における LDDMM のマルチ GPU 高速化, 情報処理学会 研究報告 (HPC-175), 2020.07.23 発行, pp.1-7, 2020.

公開したライブラリ等

その他（特許, プレス発表, 著書等）

1. 大島聡史: Type II サブシステム向け、Singularity の利用方法, 名古屋大学情報基盤センター Web 公開資料 (コンテナを用いた機械学習の実行方法をまとめた資料、本研究実施の過程で調査整備した内容を多く含む) <https://icts.nagoya-u.ac.jp/ja/sc/usage.html>