

jh220011

## 大規模分散医用画像処理アプリケーションの実用化に向けた研究

大島聡史（名古屋大学→九州大学）

医用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開発され利用されている。しかし診断を行う役割は人間が担っており、ソフトウェアによる判断支援などの需要は大きい。これらの処理はマルチコア CPU や GPU により高性能化が進みつつあるものの、医用画像処理分野の研究者や開発者は高性能計算技術に詳しいとは限らず、一方で医用画像や医療に関する知識が必要なことから高性能計算分野の研究者だけで当該分野の研究を推進することは難しい。そこで本研究では医用画像処理分野と高性能計算分野の研究者が連携し、スーパーコンピュータを用いた大規模分散医用画像処理アプリケーションの開発に向けた共同研究を実施している。中長期的には医学的な新しい発見・医療への貢献を目指しており、本年度はこれまでの成果を元にした大規模な問題や難しい問題への取り組みを進めた。

### 1. 共同研究に関する情報

#### (1) 共同利用・共同研究を実施している拠点名（該当するものを残す）

東京大学 情報基盤センター  
名古屋大学 情報基盤センター

#### (2) 課題分野（該当するものを残す）

大規模計算科学課題分野

#### (3) 共同研究分野（HPCI 資源を利用している研究課題のみ、該当するものを残す）

超大規模データ処理系応用分野

#### (4) 参加研究者の役割分担

- 大島 聡史 [代表] (名大→九大) : スパコン向けの実装と評価を行うとともに、代表として全体を取りまとめる。
- 片桐 孝洋 (名大) : 大島とともに、スパコン上でのプログラム最適化を担当。
- 栢木 慎也 (名大) : 大学院生。大島・片桐の指導の下で実装や評価を実施。
- 本谷 秀堅 [副代表]、クグレ マウリシオ、

横田 達也 (名工大) : 医用画像処理分野の研究者として対象プログラムやデータの提供と結果の検証、医学的考察を行う。

- 松村 海飛 (名工大) : 大学院生。本谷・クグレ・横田の指導の下で実装や評価を実施。
- 埜 敏博 (東大) : 分散機械学習についての知見を提供。

### 2. 研究の目的と意義

医用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開発され、医療現場で活用されている。例えば CT や MRI は既に広く普及し、怪我や病気の特特定などにおいて必要不可欠なものとなっている。しかし、それらによって直接的に得ることができるのは画像や映像であり、具体的な症状の判断や特定などは人間(医師など)が行っており、ソフトウェアによる判断支援などの需要は大きい。これらの処理は並列性が高いため、マルチコア CPU や GPU により高速化が進みつつある。さらに近年では機械学習技術の活用も始まっている。一方、医用画像処理分野の研究者・開発者はスーパーコンピュータなどの活

用に必要な知識や経験が乏しいことも多く、また医用画像処理アプリケーションの利用には医用画像に特有の知識や技術が必要となることもあり、医用画像処理分野における高性能な計算資源の活用が十分に行えているとは言い難い。

そこで我々は、高性能計算分野の研究者と医用画像処理分野の研究者が協力し、スーパーコンピュータを用いた大規模分散医用画像処理アプリケーションの開発に向けて共同研究を実施している。中長期的には大規模分散医用画像処理の実現による医学的な新しい発見・医療への貢献を目指してはいるものの、これまでは HPC 分野から見れば小規模のノード数を対象としたプログラム最適化と分散並列化を目指して共同研究を進めてきた。

医用画像処理は医療支援において重要な役割を果たしており、その技術の発展は我々の生活にも直接的に恩恵がある。本課題はそれに大きく貢献できる可能性があるという点において大きな意義がある。

一方、医用画像処理はスーパーコンピュータを活用する研究としては新しい分野であるため、本研究による医用画像処理への取り組みは医用画像処理分野におけるスーパーコンピュータの利用促進や、医用画像処理に適したスーパーコンピュータの構築についての知見が得られる可能性もある。そのため本課題は、医用画像処理研究分野、高性能計算分野、スーパーコンピュータ運用、各者にとって意義のある研究である。

本研究は継続して実施している課題であり、医用画像処理プログラムの評価と改善と、それに基づく医療・医学への貢献が研究全体の目的である。当年度は、従来から進めてきた PET 画像再構成プログラムの高性能化と、TNR 再構成プログラムの大規模実行が主な目的である。

### 3. 当拠点の公募型研究として実施した意義

本研究の実施には医用画像処理分野と高性能計算分野の研究者が力を合わせる必要があり、また多くの計算資源も必要である。そのため当拠点の課題として実施する意義は大きい。

### 4. 前年度までに得られた研究成果の概要

PET 画像再構成プログラムの改良を行い、マルチ GPU 環境にて大幅な高速化を実現した。また、従来よりも高解像度な画像を元にした再構成を可能とした。

TNR 再構成プログラムの並列化に着手し、テストデータに対して MPI+OpenMP ハイブリッド実行による大幅な高速化を確認した。

### 5. 今年度の研究成果の詳細

- PET 画像の再構成について

前年度の成果から元プログラムに対する改良の余地が示されていたため、まずは元プログラムの改良を行った。MMF, DIP, グラフ正則化, ブロックスパースなどの複合モデルと MM による最適化を行う新たなアルゴリズムを導入することで、従来よりも安定した PET 画像の再構成が可能となった。(業績 1-1, 4-1)

さらにこの改良法に対して、前年度に実施した GPU スパコン向けの最適化を再適用し、マルチ GPU 環境における高性能化・大規模化を実現した。(業績 4-2)

- TNR 再構成について

前年度の成果（並列化実装）を元に、より大きな問題の実行や多ノードでの実行に取り組んだ。TB 級のデータに対して性能確認を行い、効果を確認した。

### 6. 進捗状況の自己評価と今後の展望

- PET 画像の再構成について

提案時に挙げた目標は、前年度に開発したプログラムを元に、使用メモリ量の削減やチェックポイント&リスタートによる長時間実行への対応を行い、超解像度の長時間実行を行うことで高速で高精度なノイズ除去を達成することである。しかしながら、前年度の成果から元プログラムに対する改良の余地が示されたため、その対応を優先して実施した。その結果、PET 画像の再構成を従来よ

りもさらに安定かつ高速に行うことが可能となった。超解像度問題の実行についても取り組んだが、2 倍超解像度問題の実行については問題なく行えるようになった一方で、4 倍超解像度問題については、利用している機械学習フレームワークの構造上の制限（対応可能な問題サイズの上限值）を超えてしまうことが判明した。解決策としては、フレームワークを改造することや、用いるネットワークを変更することが考えられ、実現性も含めた検討を行っている。使用メモリ量の削減については、GPU の有する Unified Virtual Memory (UVM) 機能を活用することで GPU に搭載されたメモリ量を超えた問題を扱えることに成功しており、実装の工夫により使用メモリ量を削減することができればさらに性能が向上する可能性はあるものの、取り組む優先順位を下げた。一方、メモリ容量よりも先に上述のフレームワークの制限が先に影響するという問題が明らかになっている。チェックポイント&リスタートへの対応については未達成である。

- TNR 再構成について

10TB を超える大規模データに対する再構成を計画していたが、アプリケーション提供側の都合により、TB 級のテストデータに対する実験の実施に留まった。

## 7. 研究業績

### (1) 学術論文（査読あり）

1-1. T. Yokota, H. Hontani, Q. Zhao, and A. Cichocki, "Manifold Modeling in Embedded Space: An Interpretable Alternative to Deep Image Prior", IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, vol.33, no. 3, pp. 1022-1036, 2022.

### (2) 国際会議プロシーディングス（査読あり）

### (3) 国際会議発表（査読なし）

### (4) 国内会議発表（査読なし）

4-1. 松村海飛, 本谷秀堅, 坂田宗之, 木村裕

一, 横田達也, ダイナミック PET 画像再構成における非負行列分解の安定な最適化, 信号処理シンポジウム, 2022 年 12 月.

4-2. 湯浅義尚, 松村海飛, 横田達也, 大島聡史, 本谷秀堅, 片桐孝洋, 永井亨, "MM アルゴリズムを用いた 4 次元 PET 画像再構成の高速化", 情報処理学会第 85 回全国大会, 2023.03.02, pp.1-2, 電気通信大学, 2023.03.02-04 開催, 2023.03.02 発表. (学生奨励賞を受賞)

### (5) 公開したライブラリなど

### (6) その他（特許, プレスリリース, 著書等）