

平成 28 年 6 月 24 日現在

機関番号：26402

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330088

研究課題名(和文) スケルトン並列プログラミング手法による高速・大規模脳情報処理の実現

研究課題名(英文) Realizing Fast and Scalable Brain Information Processing based on Skeletal Parallel Programming

研究代表者

松崎 公紀 (Matsuzaki, Kiminori)

高知工科大学・工学部・准教授

研究者番号：30401243

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、研究代表者らがこれまでに行ってきた系統的並列プログラミング手法を脳神経科学分野に対して応用するものである。課題1) 並列・分散化による脳画像処理の高速化、課題2) 脳画像データベースに向けた並列・分散フレームワークの研究の2つの課題に取り組んだ。課題1)に対しては、fMRI画像の超解像処理を対象に、並列化を含むプログラム高速化手法を3通り適用することで、それぞれ約3倍の高速化を達成した。課題2)に対しては、大規模データ処理フレームワーク MapReduce をデータ依存性のある計算に対して適用する手法ならびに、Hadoop MapReduce の計算モデルの定式化を行った。

研究成果の概要(英文)：This research is to apply systematic parallel programming methodology to applications in the brain science area. It consists of the following two tasks: task 1) application of parallel programming to brain image processing applications; task 2) study on large-scale parallel/distributed framework for brain-image database. We applied three program-optimization methods to super-resolution processing of fMRI images and obtained speedups by a factor of about three by each of methods. We also proposed an algorithm to process data with tree dependency on the MapReduce framework and formalized the functional model of Hadoop MapReduce.

研究分野：ソフトウェア

キーワード：並列プログラミング 脳情報処理 計算パターン 超解像処理 MapReduce

1. 研究開始当初の背景

近年では、より多くのコアからなるマルチコア CPU や GPGPU など、計算機の性能向上はハードウェアの並列化により実現されている。そのような並列化されたハードウェアを効率良く利用するためには並列プログラムが必要であり、シミュレーションなどの計算科学分野を中心にこれまでも多くの研究がなされてきた。申請者はこれまでに、並列計算において有用なパターンを用いて並列プログラムを系統的に開発する手法「スケルトン並列プログラミング」に関して、その理論とライブラリ「助っ人」の実装を行ってきた。スケルトン並列プログラミングの利点は、系統的にパターンを組み合わせることによる開発の容易さとプログラムの正しさにある。

本研究は、これまでに行ってきた系統的並列プログラミング手法を脳神経科学分野に対して応用するものである。脳神経科学、とくに MR 装置などにより実際の脳活動を計測する研究が発展していることから、より大規模なデータを高速に処理することが求められている。例えば、以下の参考文献の [1] や [2] に示すような、脳部位間の機能連携や脳に対するリアルタイムフィードバックの研究では、その研究対象を全脳に拡大するには高速な計算が必要となる。例えば、全脳に対して網羅的に機能連携を調べるとすると、そのデータは $256 \times 256 \times 40$ の 3D 画像 1000 スキャン以上となる。このように、脳神経科学の発展において、並列・分散処理による計算の高速化・大規模化は大いに貢献できる。

参考文献

- [1] J. S. Anderson et al.: “Functional connectivity magnetic resonance imaging classification of autism.” *Brain* 134:3739-3751, 2011. (脳の複数部位間の機能連携に関する研究)
- [2] K. Shibata, et al.: “Perceptual learning incepted by decoded fMRI neurofeedback without stimulus presentation.” *Science* 334:1413-1415, 2011. (リアルタイムフィードバックによる脳機能変化の研究)

2. 研究の目的

本研究では、次の 2 点を中心に脳画像処理基盤の構築に取り組む。

課題 1) 並列・分散化による脳画像処理の高速化

現在、脳機能画像の処理は SPM (Statistical Parametric Mapping) という MATLAB 上のアプリケーションによって行われるのが一般的である。全脳に対する一連の実験データに対してこの SPM による処理を行うと、現在の一般的な計算機では数分から 30 分程度の

時間がかかる。脳神経科学においてリアルタイム処理を行うためには、秒～十秒単位でのフィードバックが必要であり、すなわち 10～100 倍程度の高速化が必要となる。MATLAB 上でも並列処理は可能であるが、より高速に計算を行うためにはアプリケーションの処理全体に対して並列・分散化を適用することが必要である。

本研究では、スケルトン並列プログラミング手法の研究で得てきた系統的な並列化手法を脳画像情報処理アプリケーションに適用し、その高速化を実現する。その対象アプリケーションには SPM だけでなくいくつかのものを考える。

課題 2) 脳画像データベースに向けた並列・分散フレームワークの基礎

脳神経科学分野における研究の成果を実用・臨床に応用するためには、個別の人の情報だけでなく、多くの人の脳画像をデータベースとして蓄積し、それらの脳画像データベースを用いた処理が必要とされている。(参考: 朴啓彰, 基盤研究 (B)(一般)(平成 23～25 年度), “白質病変マッピングに基づく運転特性と高齢者等の個人対応型事故防止対策の基礎的検討”)

正規化された 1 枚の脳機能画像そのものはそれほど大きなデータではないものの、多数の脳機能画像を扱うとなると分散処理を適用して計算を行う並列・分散アルゴリズムとそのフレームワークが必要となる。

そこで本研究では、脳機能画像のデータベースから情報を所得する上で必要となる並列・分散アルゴリズムとフレームワークに関する基礎研究を行う。これまで、データ間に依存性があまりない大規模データ処理のフレームワークとして MapReduce などが提案されているが、本研究課題では依存性(対象者の属性による分類や時系列など)を含むデータ(木構造データ, グラフデータ)を効率的に扱えるフレームワークについて研究を行う。

3. 研究の方法

課題 1) に対しては、これまでに脳神経科学分野で用いられてきたアプリケーションの現状についてまず調査を行い、本研究において対象とする脳画像処理アプリケーションを決定する。研究の当初は、脳神経科学分野で標準的なアプリケーションのひとつ SPM (Statistical Parametric Mapping) を対象に考えた。次に、脳神経科学分野の動向のもと、脳における機能的接続性の解析を次の対象として、その計算を計算パターンの観点から定式化した。さらに、fMRI 画像の空間解像度の低さ ($64 \times 64 \times 40$, 1 ボクセルのサイズは 3mm 程度) に着目し、その解像度を向上させる超解像処理を実際に並列化 / 高速化の対象アプリケーションとして設定した。

対象アプリケーション (fMRI 画像に対する超解像処理) に対して, 標準的な逐次プログラムを作成し, さらにそれに対して系統的な並列化手法などを複数適用することで高速な超解像アプリケーションが作成できることを示した.

課題 2) に対しては, 現在広く利用されている大規模分散処理フレームワークである Hadoop MapReduce を主な対象として, そのフレームワーク上で効率良く依存関係のあるデータを取り扱うためのアルゴリズムを提案し, 実験によりその性能を調査した.

また, Hadoop MapReduce 等のフレームワーク上でより複雑なアプリケーションを構築していくためには, その計算モデルなどの定式化が重要である. 研究代表者らがこれまでに研究してきた関数プログラミングの手法を利用して, より詳細な Hadoop MapReduce の計算モデルの定式化を与えた.

4. 研究成果

課題 1) に対しては, 主に, 機能的接続性解析に対する計算パターンの抽出, ならびに, fMRI 画像に対する超解像処理アプリケーションの並列化/高速化を行った.

前者について, 2010 年に提案された解析モデルを計算するためには, 近傍のボクセルの影響を計算するステンシル計算と, 遠隔のボクセルの影響を計算するペアワイズ計算の組み合わせが必要であることを明らかにした. 後者については, まず fMRI 画像に対する超解像処理の有効性について検証を行った (雑誌論文 [4], 学会発表 [4]). さらに, (a) GPU を用いた並列処理の適用による高速化, (b) C++ プログラミング手法の改善による逐次プログラム部分の高速化, (c) 関数型言語 Haskell とそのライブラリによる並列化, の 3 つの方法で高速化に取り組み, それぞれ約 3 倍の高速化を達成した (学会発表 [1,2,3]).

課題 2) に対しては, 主に, MapReduce フレームワークの上で木構造処理を行うためのアルゴリズムの構築, ならびに, Hadoop MapReduce フレームワークに対する関数モデルの提案を行った.

前者について, MapReduce フレームワークの上でもアルゴリズムや実装を工夫することにより, 台数効果 (並列計算によるスピードアップ) のある木累積計算が可能であることを示した (雑誌論文 [2], 学会発表 [8,9]). 後者について, 既存の (Google) MapReduce 計算モデルを拡張し, Hadoop MapReduce で新しく追加されたいくつかの機能を含む関数モデルを提案し, その関数モデルを利用することで Prefix sums (scan) と呼ばれる重要な並列アルゴリズムが記述できることを示した (雑誌論文 [1], 学会発表 [5,6,7]).

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 7 件)

- [1] Kiminori Matsuzaki: “Functional Models of Hadoop MapReduce with Application to Scan.” International Journal of Parallel Programming, (オンライン公開), 2016. DOI: 10.1007/s10766-016-0414-9 (査読あり)
- [2] Kiminori Matsuzaki, Reina Miyazaki: “Parallel Tree Accumulations on MapReduce.” International Journal of Parallel Programming, Vol.44, No.3, pp.466-485, 2016. DOI: 10.1007/s10766-015-0355-8 (査読あり)
- [3] Shigeyuki Sato, Kiminori Matsuzaki: “A Generic Implementation of Tree Skeletons.” International Journal of Parallel Programming, Vol.44, No.3, pp.686-707, 2016. DOI: 10.1007/s10766-015-0365-6 (査読あり)
- [4] 松崎 公紀, 宮崎 玲奈: “fMRI 画像に対する超解像処理とその効果についての検証.”高知工科大学紀要, Vol.12, No.1, pp.131-138, 2015. URL: <http://kutarr.lib.kochi-tech.ac.jp/dspace/handle/10173/1299> (査読なし)
- [5] Takayuki Kawamura, Kiminori Matsuzaki: “Dividing Huge XML Trees Using the m-bridge Technique over One-to-one Corresponding Binary Trees.” IPSJ Transaction on Programming, Vol.7, No.3, pp.40-50, 2014. URL: <http://ci.nii.ac.jp/naid/110009806548> (査読あり)
- [6] Yu Liu, Kento Emoto, Kiminori Matsuzaki, Zhenjiang Hu: “Accumulative Computation on MapReduce.”情報処理学会論文誌プログラミング, Vol.7, No.1, pp.18-27, 2014. URL: <http://ci.nii.ac.jp/naid/110009658970> (査読あり)
- [7] Kento Emoto, Kiminori Matsuzaki: “An Automatic Fusion Mechanism for Variable-Length List Skeletons in SkeTo.” International Journal of Parallel Programming, Vol.42, No.4, pp. 546-563, 2014. DOI: 10.1007/s10766-013-0263-8 (査読あり)

{ 学会発表 } (計 13 件)

- [1] 畑中 涼, 松崎 公紀: “プログラム高速化の効果の検証 - 超解像処理を題材として.” 第 18 回プログラミングおよびプログラミング言語ワークショップ (PPL2016) ポスター, たまの温泉「ダイヤモンド瀬戸内マリンホテル」(岡山県玉野市), 2016 年 3 月 7 日.
- [2] 松崎 公紀: “MR 画像に対する超解像化

とその高速化に関する検討。” 医用画像情報学会平成27年度春季(第174回)大会, 広島国際大学(広島県広島市), 2016年2月6日.

- [3] Juan Luis Soler Ferrer, Kiminori Matsuzaki: “MRI Image Processing with OpenCL.” 第32回日本ソフトウェア科学会大会, 早稲田大学(東京都), 2015年9月9日.
- [4] Kiminori Matsuzaki, Reina Miyazaki: “Evaluation of Super-Resolution for fMRI Images.” 5th International Symposium on Frontier Technology (ISFT 2015), 昆明(中国), 2015年7月25日.
- [5] Kiminori Matsuzaki: “Functional Models of Hadoop MapReduce with Application to Scan.” 8th International Symposium on High-level Parallel Programming and Applications (HLPP 2015), ピサ(イタリア), 2015年7月3日.
- [6] Kiminori Matsuzaki: “Functional Models of Hadoop MapReduce.” China-Japan Innovation Forum on New Energy Utilization and Sustainable Development, 合肥(中国), 2014年11月15日.
- [7] 松崎 公紀: “Hadoop MapReduce の計算モデルの定式化と Scan 計算への応用.” 情報処理学会第100回プログラミング研究会, 朱鷺メッセ新潟コンベンションセンター(新潟県新潟市), 2014年7月30日.
- [8] 宮崎 玲奈, 松崎 公紀: “MapReduce 上での並列木累積計算の実装.” 情報処理学会第100回プログラミング研究会, 朱鷺メッセ新潟コンベンションセンター(新潟県新潟市), 2014年7月30日.
- [9] Kiminori Matsuzaki, Reina Miyazaki, “Parallel Tree Accumulations on MapReduce.” 7th International Symposium on High-level Parallel Programming and Applications (HLPP 2014), アムステルダム(オランダ), 2014年7月3日.
- [10] Shigeyuki Sato, Kiminori Matsuzaki: “A Generic Implementation of Tree Skeletons.” 7th International Symposium on High-level Parallel Programming and Applications (HLPP 2014), アムステルダム(オランダ), 2014年7月3日.
- [11] Kawamura Takayuki, Kiminori Matsuzaki: “A Tree-Division Tool for Practical Huge XML Trees.” 11th Asian Symposium on Programming Languages and Systems (APLAS2013), Poster, メルボルン(オーストラリア), 2013年12月10日.
- [12] Kento Emoto, Kiminori Matsuzaki: “An Automatic Fusion Mechanism for Variable-Length List Skeletons in SkeTo.” International Symposium on High-level Parallel Programming and Applications (HLPP2013), パリ(フランス), 2013年7月1日.

- [13] Kiminori Matsuzaki: “Neuro-Science Provides Challenges in Big-Data.” Presented at the 3rd Parallelism Oblivious Programming Workshop, 湘南国際村センター(神奈川県三浦郡) 2013年5月1日.

〔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〕
研究代表者のウェブページ:
<http://www.info.kochi-tech.ac.jp/~kmatsum/index-j.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松崎 公紀 (MATSUZAKI, Kiminori)
高知工科大学・情報学群・准教授
研究者番号: 30401243