

自己評価報告書

平成23年 5月 11日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究 (A)

研究期間：2008~2011

課題番号：20246027

研究課題名 (和文) マルチコアプロセッサに対応した革新的特異値分解ライブラリーの開発

研究課題名 (英文) Development of an Innovative Singular Value Decomposition Library

Corresponding to Multi-Core Processors

研究代表者

中村 佳正 (NAKAMURA YOSHIMASA)

京都大学・大学院情報学研究科・教授

研究者番号：50172458

研究代表者の専門分野：数理工学、計算数学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎・工学基礎

キーワード：特異値分解、マルチコアプロセッサ、ライブラリー、並列計算

1. 研究計画の概要

特異値分解は、情報検索、画像処理、最小2乗問題等に広く用いられている基本的かつ重要な行列演算である。研究代表者等が開発してきた日本発の新しい特異値分解アルゴリズムI-SVD、特異値計算アルゴリズムmdLVsの一層の発展を目指し、基礎研究からライブラリー開発までを推進し、成果論文、コードなどを公開する。とりわけ、今後主流になるといわれるがマルチコアプロセッサ上で、レベル3 BLASによる行列乗算の高速化を行い、成果コードを公開する。

2. 研究の進捗状況

(1) 従来の2重対角化アルゴリズムでは、行列Aに対して両側からHouseholder変換を繰り返し作用させることで2重対角化を行う。計算量のほとんどを行列とベクトルの積、および行列のrank-1更新と呼ばれる演算が占める。しかし、これらの演算ではデータの再利用性がなく、キャッシュメモリが有効に利用できない。このため、メモリからのデータ転送速度がボトルネックとなり、プロセッサの演算性能が十分発揮できない。これを改善する手法として、Bischofにより提案された2段階型の2重対角化アルゴリズムに着目した。この算法では、Aをまず帯幅Lの下3角帯行列に変換し、次にCを2重対角行列Bに変換する。同様に逆変換も2段階で行う。逆変換の演算量が2倍になる代わりに、前処理、後処理の演算のほとんどがキャッシュ利用効率の高いBLASによる行列乗算で実行できる。従来法では前処理がネックとなり、8プロセッサでもほとんど加速が得られないが、本研究のプログラムでは約4倍の加速が得られることがわかった。この結果、マルチコアプロセッサの性能を引き出すことがで

きた。

(2) Bischofの2段階型2重対角化アルゴリズムによる前処理部ではBLASをブロックHouseholder法の下で活用するが、この適切なブロックサイズを見いだすための自動チューニング機構を考案して導入した。以上を実装した特異値計算コードDLVSと特異値分解コードDBDSLVSをバイナリーコードとしてウェブ公開した。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

(1) 本研究の開始以前は上2重対角行列の特異値分解がI-SVD法によって高速に実行できるようになっていたが、本研究の実施により、マルチコアプロセッサ上の並列計算によって密行列の特異値分解を高速に実行するDBDSLVSコードの開発とそのバイナリー公開という所期の目的は達成されている。

(2) 特異値計算部のmdLVs法の原点シフトについても、本研究チームが見出した一般化Newton下界を中心とした新たなシフト戦略を開発し、mdLVs法の一層の高速化、高精度化を実現し、公開中の成果コードのバージョンアップに反映させている。

このように独自の基礎理論の着実な進展とともに、応用を見据えた公開コードの性能向上を果たしている。

4. 今後の研究の推進方策

(1) 特異値がクラスタをなす行列では対応する特異ベクトルを $O(N^3)$ の計算量で逆反復法等により再直交化する必要があるが、Compact WY表現を用いたHouseholder法とBLASと並列計算による高速再直交化を特異値分解コードDBDSLVSの特異ベクトル計算部に実装し、特異ベクトル計算の

高速化を実現して成果コードを公開する。
(2) 最先端のマルチコアプロセッサは、コア数が 10 個を超え、メニーコアと呼ばれる領域に入りつつある。これらのプロセッサでは、バスのバンド幅による性能ネックが従来以上に深刻化するのに加え、従来無視できた逐次処理部分が新たな性能ネックとなる。そこで、代表的な逐次処理部分であるブロック鏡像変換作成部を並列化するアルゴリズムを新たに開発する。また、バンド幅ネックが level-3 BLAS の性能に与える影響を評価し、改善を図る。

5. 代表的な研究成果

[雑誌論文] (計 10 件)

- ① Masashi Iwasaki and Yoshimasa Nakamura, Positivity of dLV and mdLVs Algorithms for Computing Singular Values, *Elect. Trans. Numer. Anal.* (2011), 査読有り
- ② 豊川博己, 山本有作, 木村欣司, 高田雅美, 中村佳正, 密正方向列特異値分解における並列 I-SVD 法の特異値を用いた後処理の高速化, *情報処理学会論文誌 コンピューティングシステム(ACS)*, 3 巻, No.2, 30--38, (2010), 査読有り
- ③ Hiroki Toyokawa, Kinji Kimura, Masami Takata and Yoshimasa Nakamura, On parallelism of the I-SVD algorithm with multi-core processor, *JSIAM Lett.* Vol. 1, 48--51, (2009), 査読有り
- ④ 深谷猛, 山本有作, 畝山多加志, 中村佳正, 正方向列向け特異値分解の CUDA による高速化, *情報処理学会論文誌 コンピューティングシステム(ACS)*, 2 巻, No.2, 98--109, (2009), 査読有り
- ⑤ Taro Konda and Yoshimasa Nakamura, A new algorithm for singular value decomposition and its parallelization, *Parallel Computing*, Vol.35, 331--344, (2009), 査読有り

[学会発表] (計 30 件)

- ① 中村佳正, 非線形可積分系に基づく高精度特異値計算アルゴリズム mdLVs の開発について, 計測自動制御学会 第 39 回制御理論シンポジウム(特別講演), 2010.9.27-29, ホテルコスモスクエア 国際交流センター
- ② Yoshimasa Nakamura, Integrable algorithms: from Moser to I-SVD, Symmetry Plus Integrability 2010 (SPI2010), The First International Conference on Integrable Systems and Nonlinear Waves on the Gulf of

Mexico (plenary talk), 2010.6.10-14, South Padre Island, USA

- ③ 中村佳正, 可積分アルゴリズム, 日本数学会秋季総合分科会(企画特別講演), 2009.9.24-27, 大阪大学
- ④ H. Toyokawa, K. Kimura, M. Takata and Y. Nakamura, On parallelization of the I-SVD algorithm and its evaluation for clustered singular values, *Proceedings of The 2009 International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA2009)*, Vol. II, 2009, pp. 711--717, Las Vegas, USA

[産業財産権]

○出願状況 (計 2 件)

名称: SINGULAR VALUE DECOMPOSITION DEVICE AND SINGULAR VALUE DECOMPOSITION METHOD

発明者: Nakamura Yoshimasa, Konda Taro, Iwasaki Masashi, Sakano Shinya, Takata Masami

権利者: JST

種類: PCT

番号: JP2007/066445

出願年月日: 2008 年 6 月 4 日

国内外の別: 米国

○取得状況 (計 2 件)

名称: 行列の高速高精度特異値分解法、プログラムおよび装置

発明者: 中村佳正、岩崎雅史、阪野真也

権利者: 科学技術振興機構

種類: 特許

番号: 特願第 4325877 号

取得年月日: 平成 21 年 6 月 19 日

国内外の別: 国内

名称: 画像特徴抽出方法および画像圧縮方法

発明者: 中村佳正、岩崎雅史、小幡雅彦、

近藤弘一、笹田昇

権利者: 科学技術振興機構、同志社大学

種類: 特許

番号: 特願 2006-211219 号

取得年月日: 平成 22 年 12 月 24 日

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ公開中の成果ソフトウェア

<http://www-is.amp.i.kyoto-u.ac.jp/lab/isvd/>

(1) 倍精度 2 重対角行列シフト付き特異値計算ルーチン DLVS

(2) 倍精度 2 重対角行列特異値分解ルーチン DBDSL