

研究課題別評価

1 研究課題名: 並列実行環境に依存しない高性能数値計算ライブラリ

2 研究者氏名: 片桐孝洋

3 研究の狙い:

コンピュータサイエンスが成熟期を迎え、あらゆる分野で高性能なソフトウェアが多数開発されています。このような状況では、すでに開発されたプログラムであるレガシーコードの再利用が重要な課題となります。

そこで我々は、ハードウェアやコンパイラを含む計算機環境に依存せずに、レガシーコードが高性能となるようにインストールされて実行できるという概念の性能可搬性を達成すべき重要な課題としました。性能可搬性を達成するため、いままで研究がされてこなかった、新しいソフトウェア・パラダイムのソフトウェア自動チューニングという新技術の確立を狙うことが本研究の狙いです。

4 研究成果:

本研究における成果は、大きく分けて2種に分類されます。それは、方式研究成果とソフトウェア開発成果です。これらの成果の説明を以下に示します。

4.1 方式研究成果

● 自動チューニングフレームワークFIBER

本研究では、FIBER (Framework of Install-time, Before Execute-time, and Run-time optimization layers) 方式と呼ぶ、新しい自動チューニング方式を提案しました。このFIBER方式の評価検証、およびFIBER方式を基にした自動チューニング用のソフトウェア(オート・チューン・ウェア)を開発するプロジェクトをFIBERプロジェクトと呼びます。

FIBERプロジェクトでは、ソフトウェア自動チューニングを行うソフトウェアをミドルウェア、すなわち、OS(オペレーティング・システム)とアプリケーション・ソフトウェアの間に位置するソフトウェアとしています。自動チューニングのためのミドルウェアを利用することで、ある1種類のプログラムで記述されたソフトウェアが性能劣化することなく、多くの計算機環境にインストールされて実行できること(=性能可搬性)を、プロジェクトのゴールとしています。図1に概略を示します。

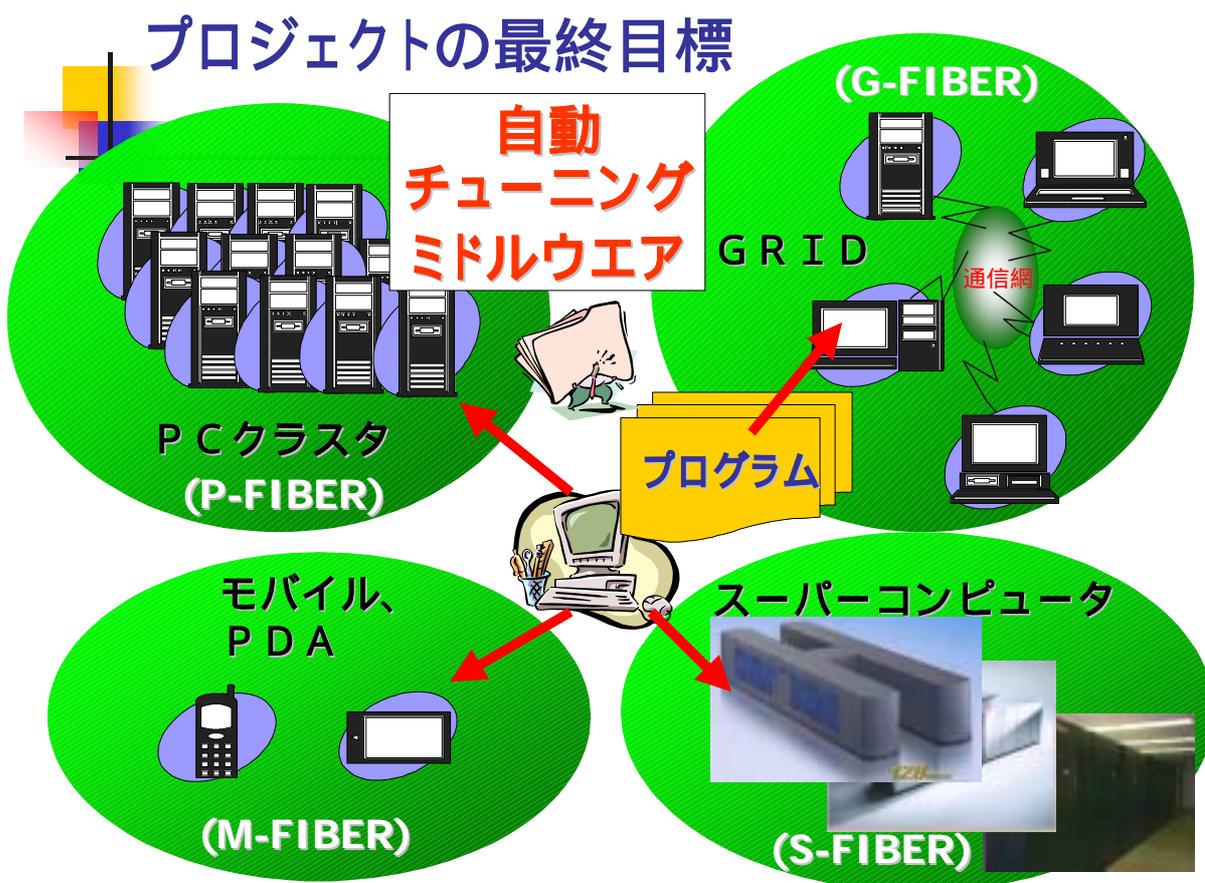


図1 FIBERプロジェクトの目標

図1が示すように、対象となる計算機環境は複数ありますが、個別の計算機環境に特化したFIBERミドルウェアの仕様与えることを考えています。その仕様の名称は、以下に示すとおりです。

- PCクラスタ用 FIBER 仕様(P - FIBER)
- スーパーコンピュータ用 FIBER 仕様(S - FIBER)
- GRID環境用 FIBER 仕様(G - FIBER)
- モバイル・PDA用 FIBER 仕様(M FIBER)

なお後で説明する、ABCLibScript は、S-FIBER の全部と P-FIBER の一部の仕様を満たすソフトウェア(ツール)であるといえます。

このような多種多様な計算機環境において、ソフトウェア自動チューニング方式の効果検証を行い、専用ツールを開発するのがFIBERプロジェクトの最終目標です。しかし対象範囲が膨大なため、科学技術振興機構で行うプロジェクトの期間3年内では達成できません。そこで対象を数値計算処理に限定し、計算機環境をPCクラスタやスーパーコンピュータに限定することで研究活動を行いました。

FIBER方式の概略

つぎにFIBERプロジェクトで行う、FIBER方式の概略を説明したいと思います。図2に、FIBER方式の概略を示します。

研究構想

ミドルウェアとしての自動チューニング機構の確立

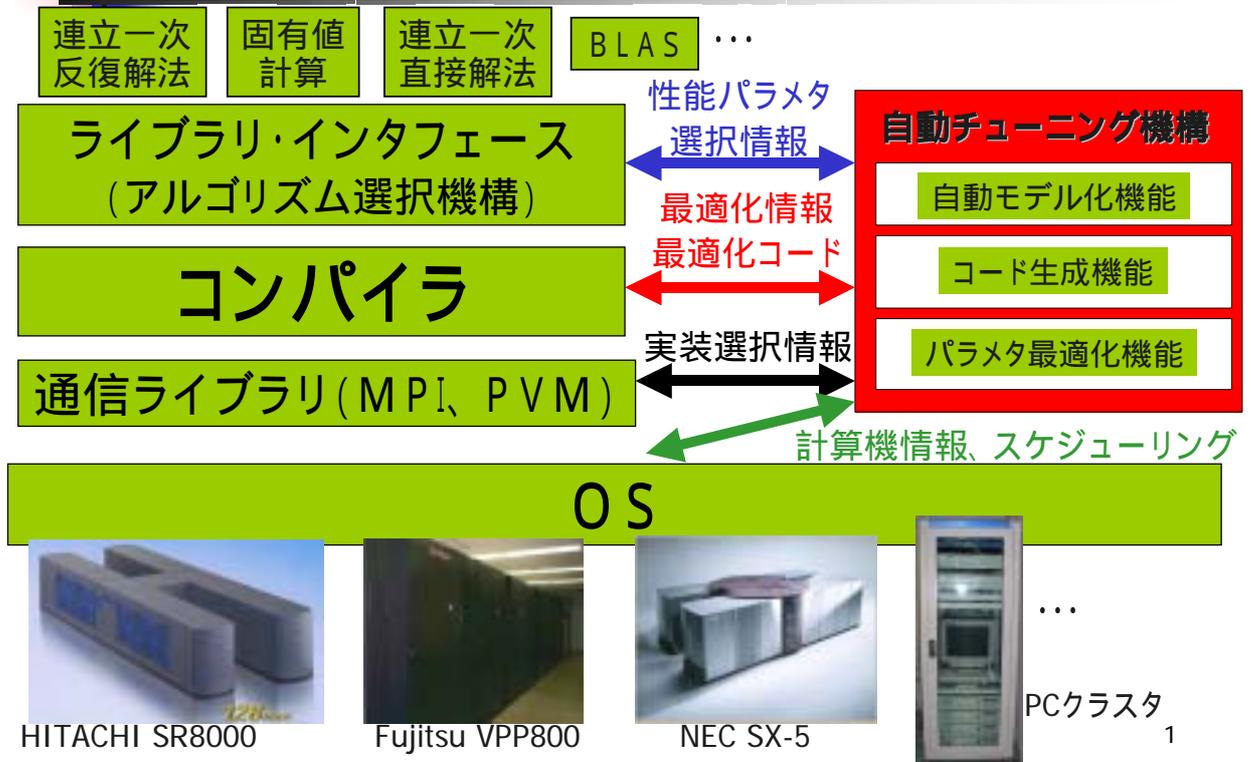


図2 FIBER方式の概略

図2に示したように、自動チューニング機構がFIBER方式にはあります。この自動チューニング機構は、自動モデル化機能、コード生成機能、およびパラメタ最適化機能を有し、これらの機能を利用することでソフトウェア自動チューニングを行います。

自動チューニングすべき対象は、以下の通りです。

- 数値計算ライブラリでのユーザインタフェース上における性能パラメタ
- コンパイラにおける最適化コード
- 通信ライブラリにおける性能パラメタや実装方式
- OSにおけるスケジューリング

これらの対象を、パラメタ化し自動チューニングすることで、PCクラスタからスーパーコンピュータに至る広範な並列計算機環境で性能可搬性を保証します。

4.2 ソフトウェア開発成果

ソフトウェア開発成果は、以下の3種のソフトウェア開発に集約されます。

- 自動チューニング機能付き並列固有値計算ライブラリ ABCLib_DRSSSED の開発
ABCLib (Automatically Blocking-and-Communication adjustment Library) という自動チューニング機能付き数値計算ライブラリの固有値計算用パッケージです。FIBER方式に基づく自動チューニング機構を付加した、並列数値計算ライブラリです。

- ABCLibScript 用プリプロセッサ ABCLibCodeGen
数値計算の専門家であるライブラリ開発者がFIBER方式の自動チューニング機構を容易に付加するための計算機言語 ABCLibScript を解釈し、汎用的な計算機言語(ここでは Fortran90 言語)を自動生成するプリプロセッサです。
- 自動チューニング経緯閲覧用ビジュアライザ VizABCLib
自動チューニング経緯を閲覧できるビジュアライザです。ABCLibCodeGen と連携しており、ライブラリ開発者が容易に自動チューニング経緯をチェックすることができます。

5 自己評価

さきがけ研究開始当初の目標は、以下の3点でした。

- (1)数値計算ライブラリにおける自動チューニング機能の実装評価
- (2)実用となる数値計算ライブラリ開発
- (3)開発した数値計算ライブラリの普及

以上を考慮すると、以下の予想外に進展した事項、予想の範囲内で進展した事項、および達成できなかった事項が指摘できます。

5.1 予想外に進展した事項

まず特筆すべきは、数値計算処理に限定して適用できる成果、および数値計算に限定しなくても適用できる汎用的な成果、を得られることができた点です。具体的事項を、以下に列挙します。

- 自動チューニングフレームワーク FIBER の提案および効果検証
- 自動チューニング機能の付加を支援する言語 ABCLibScript の開発
- 自動チューニング経緯閲覧用ビジュアライザ VizABCLib の開発

これらのソフトウェア開発には、情報基盤の研究者による発想が必要とされます。当初の私の発想では、単独で研究を進めることが不可能か、もしくは困難であった事項といえます。したがって、これらの成果は予想外に進展した事項です。

5.2 予想の範囲内で進展した事項

以下の数値計算ライブラリに関する研究は、当初の予想範囲内で行われました。

- 自動チューニング数値計算ライブラリ ABCLib の開発
 - 高度な自動チューニング機能およびソースコード新規開発
 - 新しい数値計算アルゴリズムの開発
 - 非均質計算機環境向け機能
 - 高性能行列積演算用自動チューニング機構 AutoTuned-RB の開発
 - 疎行列向け実行時自動チューニング機構 RAO - SS の開発
- 自動チューニング数値計算ライブラリ ABCLib の公開
 - ソースコード等をフリーソフトウェアとして公開
 - マニュアルなどの整備

5.3 達成できなかった事項

以下の事項は当初の予想に反して、十分に達成できませんでした。

- 自動チューニング数値計算ライブラリ ABCLib の普及

具体的には、開発ライブラリを主要なユーザとなると予想される計算物理学者、計算化学者に

利用してもらうこと、およびそれに留まらず、本ライブラリの利用による高速化で初めて、あらたな学術的な発見をしてもらうという事項です。残念なことにこれらの事項は、いまのところ報告されていません¹。今後の課題として、開発ソフトウェアの利用促進とソフトウェアの保守があげられます。

また当初想定はされていなかった事項においても、以下が指摘できます。

- 自動チューニング用言語 ABCLibScript の十分な効果検証

現在は、数値計算処理における少数のテストプログラムでの効果検証に留まっています。より多数のテストプログラムを用いて、さらに数値計算処理に限定しないプログラムを用いての効果検証が望まれます。

5.4 総合評価と感想

以下の3事項の達成は、私にとって驚くべき成果でした。

- (1) 「ソフトウェア自動チューニング」という新しいソフトウェア・パラダイムを提唱し、その重要性を啓蒙、さらに非公開ながら研究会が発足できたこと
- (2) 自動チューニング方式 FIBER を提案し、その仕様を策定できたこと
- (3) 数値計算に限定しない基盤ソフトウェアとして、世界で初めて「自動チューニング用言語 ABCLibScript」の言語仕様を策定し、その処理系を開発できたこと

これらの事項においては現在、効果検証や普及活動が不十分であることが重々承知していますが、ソフトウェア工学分野で大きな影響を及ぼす本質的な技術シーズであると自負しています。当初予想した以上の成果を出すことが出来たと思います。

またこれらの成果は、当初の私の知見のみではとうてい達成できなかった事項です。さきがけプロジェクトに参加してこれらの成果を出せた理由は、研究総括や領域アドバイザーの先生方、さきがけの研究者の方々、赴任後の大学の先生方が計算機基盤分野の一流の研究者であったことによります。彼らとの議論、およびご指導がなければ本稿で記述すらできなかったでしょう。

さきがけは、異なる専門性をもつという意味で「異文化」の一流研究者と交流することができる制度でした。お互いを尊重しつつも本音で議論することにより、新しい価値観の創造、新しい技術のシーズが創製できました。私の研究人生において、重要な一ページになったと信じています。

6 研究総括の見解

片桐研究者は、ハードウェアやコンパイラを含む計算機環境に依存せずに、レガシーコードが高性能となるようにインストールされて実行できるという概念(性能可搬性)を達成する「ソフトウェア自動チューニング」という新しいソフトウェア・パラダイムを提唱し、その重要性を啓蒙するとともに、方式・仕様を策定し、ソフトウェアを開発し公開した。また、PC クラスタおよびスーパーコンピュータ環境用の自動チューニング機能付き並列固有値計算ライブラリを開発・公開した。さらに、「ソフトウェア自動チューニング - 数値計算ソフトウェアへの適用とその可能性」という本を自費出版し、技術の啓蒙と普及のために活動した。これらは数値ライブラリ開発者や利用者の労力を大幅に削減するものである。これらの活動ならびに、当初はPC クラスタやスーパーコンピュータ環境用の数値計算処理の範囲で検討していた自動チューニング技術を、組み込みシステムや GRID など汎用的に展開できるように拡大した点は高く評価できる。今後の更なる研究進展を大いに期待したい。

¹ ただし現在、大学、研究所、民間企業研究所のユーザ登録は複数なされています。

7 主な論文等

受賞

平成 14 年度(2002 年度)情報処理学会 山下記念研究賞 受賞

著書

1. 片桐孝洋著:「ソフトウェア自動チューニング - 数値計算ソフトウェアへの適用とその可能性」、
慧文社、2004 年 12 月 3 日初版第一刷発行、ISBN4-905849-18-7、本文 163 ページ

厳選論文(国際、国内)

1. Takahiro Katagiri, Springer LNCS 2565, Selected Papers and Invited Talks of High Performance Computing for Computational Science VECPAR 2002, pp.302--314 (2003): "Performance Evaluation of Parallel Gram-Schmidt Re-Orthogonalization Methods"
2. Takahiro Katagiri, Kenji Kise, Hiroki Honda, and Toshitsugu Yuba, Springer LNCS 2858, pp.146--159, The Fifth International Symposium on High Performance Computing (ISHPC-V), Tokyo Fashion Town Building, Tokyo International Trade Center (Odaiba, Tokyo, JAPAN), October 20-22, 2003: "FIBER: A General Framework for Auto-Tuning Software"
3. 片桐孝洋, 吉瀬謙二, 本多弘樹, 弓場敏嗣, 情報処理学会論文誌: コンピューティングシステム, Vol.45, No. SIG 6 (ACS 6), pp.75--85 (2004): 「データ再分散を行う並列 Gram-Schmidt 再直交化」
4. Takahiro Katagiri, Kenji Kise, Hiroki Honda, and Toshitugu Yuba, Proceedings of ACM Computing Frontiers 04, pp.12--25, Island of Ischia, Italy, 14--16 April 2004: "Effect of Auto-tuning with User's Knowledge for Numerical Software"
5. 片桐孝洋, 吉瀬謙二, 本多弘樹, 弓場敏嗣, 2004 年先進的計算基盤システムシンポジウム (Symposium on Advanced Computing Systems and Infrastructures (SACSIS), 2004 年 5 月 26 日(水)~28 日(金)、札幌コンベンションセンター, SACSIS 2004 論文集, pp.43--52: 「自動チューニング処理記述用ディレクティブ ABCLibScript の設計と実装」
6. 木下靖夫, 片桐孝洋, 弓場敏嗣, 2005 年 ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学シンポジウム (HPCS 2005), 2005 年 1 月 18 日, 10 日, 東京大学山上会館, HPCS 2005 論文集: 「AutoTuned-RB:再帰 BLAS ライブラリの自動チューニング方式」

厳選口頭発表(国際、国内)

1. 片桐孝洋, SWoPP'2002(並列 / 分散 / 協調処理に関する『湯布院』サマー・ワークショップ 2002 年 8 月 21 日(水)--23 日(金)), 情報処理学会研究報告 2002-HPC-91, pp.43--48: 「並列固有ベクトル計算における強制対角ブロック化の効果」
2. 片桐孝洋, 吉瀬謙二, 本多弘樹, 弓場敏嗣, 第 94 回 ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC) 研究会, 平成 15 年 6 月 13 日(金) 13:00-16:45, 情報処理学会研究報告 2003-HPC-94, pp. 1--6: 「FIBER:汎用的な自動チューニング機能の付加を支援するソフトウェア構成方式」
3. 片桐孝洋, 吉瀬謙二, 本多弘樹, 弓場敏嗣, SWoPP'2004(並列 / 分散 / 協調処理に関する『青森』サマー・ワークショップ 2004 年 7 月 30 日(水)--8 月 1 日(金)), 情報処理学会研究報告 2004-EVA-10, pp.19--24, (2004): 「ユーザ知識を活用するソフトウェア自動チューニングについて」
4. 片桐孝洋, 日本応用数理学会 2004 年度年会, オーガナイズドセッション: 数値線形代数, 2004 年 9 月 16 日(木)~18 日(土), 中央大学後楽園キャンパス, 応用数理学会 2004 年度年会予稿集, pp.214 215, 「固有値ソルバの並列化とその性能」
5. Takahiro Katagiri, Kenji Kise, Hiroki Honda, Toshitsugu Yuba, Eleventh SIAM Conference on

- Parallel Processing for Scientific Computing (PP04), Hyatt at Fisherman's Wharf, San Francisco, CA, USA, Thursday, February 26, 2004, Organized Session of "MS37 Portable Parallel Numerical Libraries for Various Types of Architectures" : "Towards Performance Portability Framework for Numerical Libraries"
6. Takahiro Katagiri, Kenji Kise, Hiroki Honda, Toshitsugu Yuba, Eleventh SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (PP04), Hyatt at Fisherman's Wharf, San Francisco, CA, USA, Thursday, February 26, 2004, Poster Session: "FIBER: Generalized Framework for Numerical Software"
 7. 片桐孝洋、第464回電気通信大学数値解析研究会、2004年6月25日(金)、「ソフトウェア自動チューニング - 固有値ソルバへの適用とその可能性 - 」
 8. 石井良規、片桐孝洋、本多弘樹、第101回HPC研究会、情報処理学会研究報告、2005 - HPC - 101、pp.97--102:「RAO-SS: Autopilotを用いた疎行列ソルバにおける実行時自動チューニング機構」、2005年3月8日

特許出願

1. 発明者:片桐孝洋
 発明の名称:プログラム、記録媒体およびコンピュータ
 出願人:科学技術振興機構
 出願日:特願2003-022792(平成15年1月30日)
 特開2004-234393(平成16年8月19日)
2. 発明者:片桐孝洋
 発明の名称:計算装置、計算方法、プログラムおよび記録媒体
 出願人:科学技術振興機構
 出願日:特願2003-092592(平成15年3月28日)
3. 発明者:片桐孝洋
 発明の名称:計算装置、計算方法、プログラムおよび記録媒体
 出願人:科学技術振興機構
 出願日:特願2003-149701(平成15年5月27日)
 特願2003-92592の国内優先権出願
4. 発明者:片桐孝洋
 発明の名称:計算処理方法、そのプログラム、データ再分散機構、計算処理装置
 出願人:科学技術振興機構
 出願日:特願2003-372051(平成15年10月31日)

公開ソフトウェア

1. 片桐孝洋:自動チューニング機能付き並列数値計算ライブラリ ABCLib_DRSSD (Fortran90 と MPI-1 で約 30,000 行)(2004)
2. 片桐孝洋:自動チューニング機構付加支援ディレクティブ ABCLibScript 用プリプロセッサ ABCLibCodeGen (Fortran90 用) (C++で約 10,000 行)(2004)
- 3.片桐孝洋:自動チューニング処理閲覧用ビジュアライザ VizABCLib (2004)
- 4.片桐孝洋:ABCLib_DRSSD ver.1.00 マニュアル、48 ページ (2004 年 10 月)
- 5.片桐孝洋:ABCLibScript ver.1.00 利用の手引き、41 ページ (2004 年 10 月)
- 6.片桐孝洋:ABCLib Project オンラインマニュアル、
<http://www.abc-lib.org/online/abclib.htm> (2004 年 10 月公開)
- 7.片桐孝洋:ABCLib_DRSSD Manual version1.00、53 ページ (2004 年 12 月)(英語)
- 8.片桐孝洋:ABCLibScript User's Guide version1.00、47 ページ (2004 年 12 月)(英語)