

論文審査の結果の要旨

氏名 片桐 孝洋

本論文は4部より成り、第一部では、上記で指摘した「大規模」な作成に並列化を行った。第二部では、固有値計算のためには、ライブラリの前半では、超大规模な環境評価じていて、後半では、提案件と並列化アルゴリズムに適用範囲において、提案を行った。第三部では、並列計算機を用いて、複数の並列計算機の適用範囲において、提案を行った。第四部では、第二部と第三部において得られた知見のまとめを示した。さらにこれらから、対称密行列用固有値ソルバの利用者に対して、利用上の問題およびどのような解法を利用すべきかを述べた。

本論文の第一部では、まず分散メモリ型計算機利用の観点からの問題点が述べられている。具体的には、以下の三種の事項：

- (1) 逐次ブロック化アルゴリズムの並列化による負荷分散の劣化；
- (2) 対称性の利用による通信の発生；
- (3) 二次元分散に伴う通信削減方式；

が問題であり、これらの事項を考慮すべきである。これらの問題を解決するため、本論文では第二部で各種のアルゴリズムの提案を行った。この一方で、ライブラリの作成と利用の観点の問題がある。それらは、

- (1) 高性能を達成するためのコード量の増加；
- (2) 利用者が設定する誤ったパラメタ；

の問題である。この問題を解決するため、本論文では第三部において自動最適化機能の提案を行った。

本論文の第二部としてまず始めに、対称密行列の固有値問題を解く場合で必要になる Householder-Bisection 法を取り上げた。このアルゴリズムでは Householder 三重対角化が必要になるが、従来ではプロセッサ台数が増加すると通信時間も増加するという問題が生じていた。そこで本論文では、プロセッサ台数が増加しても通信時間が減少するアルゴリズムを提案した。またこの三重対角化において、演算性能を向上させる技法であるブロック化という技法 (アルゴリズムブロッキング) が逐次処理においては利用されていた。一方でブロック化アルゴリズムを分散メモリ型並列計算機上に実装する場合には行列データをプロセッサに分散をしなくてはならないが、あるまとまった単位で行列データをプロセッサに分散する (データ分散ブロッキング)。従来のアルゴリズムでは、このアルゴリズムブロッキングのブロック幅とデータ分散ブロッキングのブロック幅を同一にしていた。このことから問題サイズが小さい場合や超並列環境では負荷バランスが劣化し、高性能なアルゴリズムを構築できないという問題が生じていた。

そこで本論文では、アルゴリズムブロッキングのブロック幅とデータ分散ブロッキングのデータ幅を区別してアルゴリズムを設計する概念を提案し、実際の並列計算機にそのアルゴリズムを実装して評価を行った。さらに従来から比較的使われている ScaLAPACK の同種ルーチンに対して、最大で 5 倍程度向上を得ることができた。また実際のある応用ソフトウェアにおいては、572 次元という非常に小さなサイズの固有値問題を 6000 回以上も解く必要がある。このような応用ソフトウェアにおいて本アルゴリズムを適用することで、8 台の PC クラスタで 90% 以上という高い並列化効率をはじめて達成できるようになった。

用固処た理て化用例こり装数を複化の処め劣をるるゴ実回法重交渉のじの式きスルに復Gram-Schmidtは直解つは散方で加アン反理の二を分散良付化チの直來い」ムでデント並計収処こそく係荷分改を交一で交では。い関負タを能直ルまなこ。つ交リ環しパソシト度。の従て化ズ境いラ一いルと必須、るな直ゴ機新荷に新ク精た。必要てなと再ル算の負理るベ交しでいと題「ア計こて処あ有直認場合お要問と列列。い化が固て確場に必が」並並る。お交性のべらる題にフ解と超すに直能際比かす問際才分散、案解、可実に驗算を値するドQR分は提分てるを合実計算有す一「タてをQRいきム場値計算固算レを一い式のおでズた数形。計ト理デお方でに善りいを線たをの処のに散境化改ゴ用と限リク列直機QR一処再精の交あに取ベ並ず算たデ列で交こ直が算を有とま計まい並方直。の合計理固度は列。し超一とる来場値処る精で並た新、能す從る有化して文、しるでた性案、れ固交対い論しにすとし列提果さ次に直にお本類改善こ認並を結善いた値に、分ら改る確でムた改い有理めに明をいをとズしが

次に第三部では、本論文で提案された実行前最適化機能を付加した数値計算ライブラリのようないかを議論する。そのため「高性能な」自動チューニングソフトウェアとは何かを定義する。それは

- (1) プログラムを高速に実行できるパラメタを見つけることができること、
(2) その高速なパラメタを見つける時間もまた高速であること、そして
(3) 最適化時間を増やせばよりよいパラメタを発見できること、である。

この議論した。実機による評価法を用いることによって、高機能な自動チューニングソフトウェアを実現するため、4種の方 法を「不完全な分解」によって実現するため、4種の方

この「不完全な分解」による方法とは、多くの線形代数計算はいくつかの基本演算からなる分解処理により構成されていることを利用したものである。実機による実験の結果、同じ性能を達成できるパラメタを発見するまでの最適化時間を約 1/74.1にできることが判明した。これは約33時間の最適化時間が、1591秒程度に削減されることを意味しており、非常に有効な方法であることが示された。

この一方で著者は、Intelligent BLAS (IBLAS) とよばれる新しいBLASにおける分類を提案した。このIBLASの概念は、実行前最適化機能の概念を自然に拡張することによって得られたものであり、実行前最適化の概念なしには得られることはできなかった。具体的にIBLASとは、従来のBLASに比べ問題サイズに応じて多数の実装方式を動的に選択することができる柔軟なBLASである。実機による評価の結果、従来のBLASは最適ではないことが判明した。なぜならば、IBLASの方がより高速である場合が存在したからである。IBLASを利用することで、従来のBLASを利用した場合に比べ 約1.02--1.26倍程度の高速化を達成する場合があった。BLASを利用しているソフトウェアは容易にIBLASを利用できる。このことから本論文で提案されるIBLASの適用性は広く、高性能な数値計算ルーチンを構築するための有用な手法になることが期待される。

最後に第四部は、第二部と第三部で得られた知見を総括する。第二部の前半から得られた知見は、

- (1)通信量削減手法の利用；
- (2)ブロック化とデータ分散に関するパラメタの分離による負荷分散の改善；
- (3)対称性の利用の取り止めによる通信量の削減；

により、従来法では達成不可能な高速化を実現する並列三重対角化処理が構築可能ということである。特に本論文で提案されたアルゴリズムは、行列サイズが小さい場合や超並列環境でも高速である。このことから小さい問題サイズの固有値問題を多数回解く場合に有効であり、多くの応用ソフトウェアでの利用が期待される。

本研究は、黒田久泰、大澤清、金田康正との共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析及び検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。