

論文の内容の要旨

論文題目	数値計算ライブラリを対象としたソフトウェア自動チューニングにおける性能パラメタ推定法に関する研究
学 位 申 請 者	田 中 輝 雄

大規模行列計算等で利用されている数値計算ライブラリを，使用する計算機環境およびユーザが解きたい問題に対して，実行性能が最大になるように自動

ソフトウェア自動チューニングでは，数値計算ライブラリのルーティング・アンダリング段数などを性能チューニング項目としてパラメタ化する．この性能パラメタのとり得る値の中から複数の標本点を選択し，標本点ごとに数値計算ライブラリの実行時間を測定する．標本点ごとの実行時間(=コスト)の変化をコスト定義関数であらわし，このコスト定義関数を用いて，数値計算ライブラリの実行時間を最小にする性能パラメタの最適値を推定する．この性能パラメタ推定は，複数の性能パラメタおよび複数の問題規模(行列サイズ)に対して実行する必要があり，性能パラメタ推定時間の短縮が課題となっている．

本論文では，コスト定義関数による推定に必要な最小数の標本点から始め，新たに標本点を選択し追加しながらコスト定義関数を順次更新し，最適な性能パラメタの値を推定する「標本点逐次追加型性能パラメタ推定法」を提案する．この性能パラメタ推定法では，標本点を追加するか否かの終了判定条件として，何回連続して同じ性能パラメタ値を選択したかという同一判定の連続回数をを用いる．また，コスト定義関数として，標本値を追加したときの実測データ間の形状変化に柔軟に追随し，かつ計算量の少ないd-Splineを適用する．

標本点逐次追加型性能パラメタ推定法は，次のような特徴を持つ．

- 1) 事前に与えられた固定数の標本点をもとに推定を行なう従来の方式に対し，必要に応じて使用する標本点の数を調整する柔軟性を実現した．
- 2) 高い正答率(最適な性能パラメタ値を選択する割合)を実現した．もし正しい最適値を選択できなかった場合も，最適値に近い実行時間の性能パラメタ値を選択する．

3) コスト定義関数d-Splineは、提案する性能パラメタ推定法との整合性が良く、数値計算ライブラリ自体の実行時間に比べて、無視できるほど小さい演算量で実行できる。

4) ユーザからの事前情報は一切使用しないので、ユーザが解きたいどのような問題にも対応することが可能である。また、対象とする数値計算ライブラリに対しても制限はない。

これらの特徴から、提案した性能パラメタ推定法はソフトウェア自動チューニングにおいて実用性の高い方式といえる。

ソフトウェア自動チューニングによる最適化フェーズには、次の2つがある。

1) インストール時ソフトウェア自動チューニング：数値計算ライブラリを計算機にインストールする時

2) 実行時ソフトウェア自動チューニング：問題を解くために、数値計算ライブラリを用いてアプリケーションプログラムを実行する時

提案手法の有効性を検証するために、それぞれのフェーズに対して、実証実験を行なった。

インストール時ソフトウェア自動チューニングでは、ユーザプログラムが対象とする行列サイズが特定できないため、多くの行列サイズに対して数値計算ライブラリを実行させる必要がある。ここでは、密行列演算の固有値計算ライブラリを用いた。4種の計算機環境ならびに4種のベンチマークに対して、それぞれ16種の行列サイズで実験を行なった。その結果、全体での平均では、終了判定基準を4回連続同一性能パラメタ値の選択とした場合、性能パラメタのとり得る値全数に対する使用した標本点の割合である利用率は68.3%で、正答率は87.3%を実現した。ランダムに標本点を選択した場合に比べ、利用率に関し19.0ポイントの効果があつたと言える。同様に、最大では51.0%の利用率で100%の正答率を得ており、49.0ポイントの効果を実現した。

実行時ソフトウェア自動チューニングでは、実行時間にほとんど影響を与えないように性能パラメタ推定時間を抑える必要がある。ここでは、疎行列の行列積を取り上げた。疎行列の非零要素の位置は実行時にしか決まらないため、自動チューニングは実行時にしか行なうことができない。今回の実験では、疎行列の行列積計算の1%以下で性能パラメタ推定処理を実現し、無視できる時間で実現できることを示した。このとき、インストール時の場合と同様に、ランダムに標本点を選択した場合に比べて、同じ標本点の利用率で正答率を平均で55.0%から76.8%に21.8ポイントの向上を実現した。

今後は、ソフトウェア自動チューニングライブラリに、提案した性能パラメタ推定法を組み込み、実用化をはかる。それとともに、事前に全数取得することが難しい行列サイズ間の性能パラメタ最適値の補間、複数性能パラメタの同時推定など、提案した性能パラメタ推定法の改善、適用拡大に取り組む。

論文審査の結果の要旨

学位申請者氏名 田中 輝雄

審査委員主査 弓場 敏嗣

委員 曾和 将容

委員 伊藤 秀一

委員 本多 弘樹

委員 吉永 努

委員

委員

利用する計算環境にあわせて、数値計算ライブラリの性能パラメタを自動的に最適に設定する「ソフトウェア自動チューニング」の研究が進められている。本論文では、この「ソフトウェア自動チューニング」において、性能パラメタ最適化のための新しい手法を提案し、その有効性について実機を用いて、評価、検証している。

従来手法では、性能パラメタの最適化において、時間をかけてすべての標本点の実測を行なう、あるいは、精度を落とすことにより実測を行なう標本点を絞って時間短縮を図る、などの対応がなされていた。

本研究では、「ソフトウェア自動チューニング」におけるパラメタ推定の特性を活かし、最小数の標本点から始めて必要な標本点を選択し追加しながら性能パラメタの推定精度を向上させるというアイデアをもとに、実用的な手法を構築している。さらに、実際に「ソフトウェア自動チューニング」を実施する、(1)数値計算ライブラリをインストールするタイミング、ならびに、(2)ユーザプログラムの実行時に数値計算プログラムを呼び出すタイミング、それぞれのケースに対して、密行列の固有値計算、ならびに、疎行列の行列・ベクトル積を題材に、スーパーコンピュータ、PCサーバ等を用いた実証実験を行なっている。その結果、提案手法が種々の組合せに対して、柔軟に動作し効率良く性能パラメタ推定を行なうことを明らかにした。

よって、本論文は博士(工学)の学位請求論文として十分な価値を有するものと認める。