

# 論文の内容の要旨

論文題目

ACHIEVING HIGH PERFORMANCE IN PARALLEL PROGRAMS  
CONTAINING UNSCALABLE MODULES

(スケーラブルでないモジュールを含む並列プログラムにおける高性能の達成)

氏名 大山恵弘

この論文は効率的なスレッド管理と排他処理を実現するコンパイラとランタイム技術を示す。その技術は共有メモリ並列計算機上で走る並列言語を対象とする。本研究の目的は、プロセッサ数を増やすと実行時間が減少するかほとんど変化しない性能モデルの実現である。我々はそれを理想的な性能モデルと呼ぶ。

既存の並列プログラミングシステムは、それへの並行な呼び出しを逐次化するモジュール(ボトルネックモジュール)を持つ並列プログラムでは理想的な性能モデルを常には与えない。それらのシステムではボトルネックモジュールにおけるオーバヘッドがプロセッサ数の増加につれて増加し、その結果、理想的な性能モデルが与えられない。そのオーバヘッドには、複数のプロセッサが交代でボトルネックモジュールで共有オブジェクトを更新することに起因するメモリ通信と、ボトルネックモジュールへの複数の並行な呼び出しを逐次化する処理が含まれる。我々は、既存の広く使われている並列プログラミングシステムである Solaris threads ライブラリが提供するスレッドとロックを単純に用い、ボトルネックモジュールを含む複数の並列プログラムを記述して走らせた。それらのプログラムの性能は理想的な性能モデルに従わなかった。

すべての並列プログラムで理想的な性能モデルを実現するために達成すべき課題は、ボトルネックモジュールを持つプログラムの効率的実行である。その課題を達成する

ためには次の3つの本質的な問題の解決が重要である。それは、(1) ボトルネックモジュールの実行の高速化、(2) ボトルネックモジュールの実行回数の削減、(3) ボトルネックモジュール以外の部分がボトルネックモジュールへの呼び出しを表現するデータ構造を高速に生成する結果、大量のメモリが消費されることの防止である。我々の技術はそれらの問題を解決する。

第1の問題は、洗練されたスレッド管理と排他処理によって解決される。それは、ボトルネックモジュールに1プロセッサを割り当てる。そのプロセッサはそのモジュールへの複数の呼び出しを連続して実行する。ボトルネックモジュールに1プロセッサを割り当てることは、メモリ使用の時間局所性の向上と複数の並行な呼び出しを逐次化する処理の削減につながる。さらに、プリフェッチ処理や手続き間レジスタプロモーションなどの積極的な最適化の適用を可能にする。

第2の問題は、ボトルネックモジュールへの複数の並行な呼び出しを「融合」するための言語プリミティブの提供によって解決される。例えば、そのプリミティブを使えば、1つのウィンドウオブジェクトに対する再描画メソッドの複数の並行な呼び出しを融合し、再描画メソッドを1回だけ実行するようにできる。

第3の問題は、ボトルネックモジュールへの呼び出しを表現するデータ構造が多数存在している状況を検知したらプロセッサ数を減らすランタイム技法によって解決する。プロセッサ数を減らすと、ボトルネックモジュールが呼び出される頻度が下がるため、それらのデータ構造の数が減る。

各並列プログラムが与える性能モデルをよく理解するためには、プログラムの性能を決定する重要なパラメータを測るためのツールが不可欠である。重要なパラメータの一つはクリティカルパス長である。我々は、並列プログラムにコードを挿入してクリティカルパスを実行時に求める方法を構築した。その方法は、メモリ通信コストをクリティカルパス長に含めている点および第一級データ構造による通信を扱っている点で既存の方法と異なる。

我々は上の技術を備えた並列言語 Amdahl を実装し、その技術の有効性を対称型共有メモリ並列計算機 Sun Enterprise 10000 を使った実験で確認した。その実験では、複数のアプリケーションにおいて、Solaris threads ライブラリが提供するスレッドとロックを単純に使った C プログラムが理想的な性能モデルを与えない場合に Amdahl プログラムが理想的な性能モデルを与えることを観測した。