

論文の内容の要旨

論文題目 Scalable Dynamic Memory Management Module
on Shared Memory Multiprocessors
(共有メモリ並列計算機上のスケーラブルな
動的メモリ管理モジュール)

氏名 遠藤 敏夫

本論文は共有メモリ並列計算機のためのメモリ管理モジュールの実装について述べる。このモジュールはメモリ確保ルーチンとガーベージコレクタ (GC) のそれぞれを並列化したものであり、スケーラビリティに焦点をおく。メモリ管理モジュールのスケーラビリティは、特にメモリ確保を頻繁に行なうプログラムにおいて重要である。本論文はメモリ管理モジュールをスケーラブルにする技法を提案し、実験により効果を評価する。実験には対象型共有メモリ並列計算機 (SMP) Sun Ultra Enterprise 10000 と、分散共有メモリ並列計算機 (DSM) SGI Origin 2000 を用いる。スケーラビリティを達成するためには、排他制御によるボトルネックを削減するだけでなく、計算機のメモリアーキテクチャの差異を考慮することが必要不可欠である。アーキテクチャに適応した技法を採用することにより、それぞれのマシン上で最適な性能を得ることを目的とする。GC の最適化技法の効果を実験により評価するだけでなく、並列 GC の性能予測モデルを提案し、そのモデルを通じた議論も行なう。メモリ確保ルーチンの最適化技法の効果について、確保ルーチン自身の速度、メモリ利用効率、ユーザプログラム性能への影響の観点から議論する。

メモリ確保ルーチンの効率には時間的効率と空間的効率があり、これらはトレードオフになりやすい。メモリ確保の高速化のみを追求するのであれば、プロセッサ毎にヒープを分離させるのが良い。この場合確保時の排他制御は必要なく、完全に並列にメモリ確保することができる一方、メモリ使用量が増大してしまう。メモリ確保時の並列性と、メモリ利用効率の両方を満たす方式を提案する。また、メモリ確保ルーチンの設計はそれ自身だけでなくユーザプログラムの性能にも大きく影響する。例えば空間的効率を追求した結果としてユーザプログラムの局所性が低下したり、false sharing が増大してしまう場合が考えられる。このため、ユーザプログラムの性能も考慮に入れ、トレードオフについて議論する。両方の効率が良好なメモリ確保ルーチンを実装し、実験により性能評価を行なう。

実装した GC は並列マークスイープ GC であり、全スレッドが協調して処理を行なう。この並列 GC の最適化の一つとして、DSM 上のマークビットのメモリノード間平均化を提案した。DSM においては多数のプロセッサから特定メモリノードへアクセスが集中するとアクセスコストが非

常に高くなる。アクセス集中を低減するためにこの最適化を提案し、実計算機上の実験により効果があることを確認した。しかし、提案した最適化が特定の計算機で効果があったとしても、レイテンシやメモリ占有時間の異なる別の計算機で効果があることは保証されない。この問題を解決するには、並列 GC の性能とメモリアーキテクチャの関係を定量的に理解することが必要である。このために、GC 性能の予測モデルを構築した。このモデルはヒープ状態とアーキテクチャパラメータを入力とし、予測 GC 時間を出力する。ヒープ状態から、生きたオブジェクトの総量、オブジェクトグラフの並列度、キャッシュミス数を得る。一方、アーキテクチャの性質を捉えるために、メモリアクセスのレイテンシだけでなくアクセス要求の衝突も考慮する。本モデルの正当性を、予測結果と並列計算機上の実験による実測結果を比較することにより示す。衝突コストを入れないモデルによる結果との比較により、正確な予測を行なうには衝突コストを考慮することが必須であることが分かった。この手法の応用には、GC の並列度の調整や仕事移動アルゴリズムの変更などの適応的アルゴリズムが考えられる。