

平成 17 年 12 月 14 日

電子・情報工学専攻	
申請者氏名	丸山 真佐夫

紹介教員氏名	中島 浩
--------	------

論 文 要 旨(博士)

論文題目	再演と巻き戻し実行に基づく並列プログラムのデバッグ手法の研究
------	--------------------------------

(要旨 1,200字程度)

今日、並列計算の分野ではメッセージパッシング並列プログラムが主流である。このプログラミングパラダイムでは、デバッグの難しさが重大な問題であり、その解決が強く求められている。本論文は、メッセージパッシング並列プログラムのデバッグ手法についての研究を述べたものである。特に本論文は、再演法、巻戻し法、および両手法の組み合わせに焦点を当てる。

並列プログラムのデバッグを困難にする主要な要因の一つは、実行の非決定性である。この問題に対してイベントの発生順序を保存、再現することで並列プログラムの実行を決定的に再現する順序再演法が広く利用されてきた。しかし従来の順序再演法には、デバッグの全期間、計算機資源を占有する、再演実行がオリジナルの実行の順序関係に制約される、などの問題があった。巻戻し実行は、プログラムのある時点の実行状態を保存（チェックポイントイング）し、後にその状態を再現する手法である。巻戻し実行をデバッグに適用する場合、チェックポイントイングコストを小さく抑えること、ユーザが要求する状態へ巻き戻せることが求められる。従来の研究はこれらの要求に十分に応えられなかった。

本研究では、並列プログラムのデバッグにおける巻戻しの重要性に着目し、デバッグに有用な巻戻し機能の実現と、その効率的な実装を探求した。また、再演と巻戻しの両手法を組み合わせる方法を考察した。さらに、メッセージパッシング並列プログラムに対するデータ再演手法の有効性を検証した。本研究では異なる通信モデルを持つ、2種類のメッセージパッシング並列プログラミング環境に対して、再演と巻戻しを組み合わせたデバッグシステムを実装し、提案手法の有用性と現実性を検証した。

第1は仮想的な通信路を介して通信を行う並列言語Orgelである。ここでは、チェックポイントイング実行に先だって順序保存実行を行うシステムを提案した。イベント情報を利用してユーザがチェックポイントイング対象区間の制御することで、効率的にチェックポイントイングを行える。また各プロセスを独立に巻き戻すことを可能にした。メッセージ送受信のみを繰り返すプログラムでの計測で、順序保存、チェックポイントイング、再演の各実行で1.18倍、6.28倍、0.61倍という良好な実行速度を得た。

もう一方は、標準的な通信ライブラリであるMPIを対象とした。上述のメッセージ保存を発展させ、イベント内容を保存・再現するデータ再演法を採用した。この手法は、保存コストの大きさから非現実的と考えられてきた。本論文は、現代の計算機環境においてデータ再演法が実用的であるばかりか、デバッグ作業全体では順序再演法より低コストであることを明らかにした。さらに、データ再演と巻戻し実行を組み合わせによりチェックポイントイングコストの隠蔽、計算機資源の柔軟かつ効率的な利用が可能でデバッガを構築できることを示した。クラスタ並列計算機での計測の結果、データ保存実行は24%の速度低下にとどまり、再演実行では38%の速度向上が得られた。

本論文は、以上を通じて再演法と巻戻し実行によるメッセージパッシング並列プログラムのデバッグの有効性、実用性を明らかにした。