

審査の結果の要旨

氏名 廖 劍偉

ソフトウェアによる耐故障化技術の代表的なものとして、複製によるデータの冗長化がある。本技術では、冗長化されたデータの更新や、実際に故障が発生した際の複製データの利用において、データの整合性の維持が必要である。そこで、いかにして少ないオーバーヘッドで整合性を維持するかが重要な課題となっている。そこで本研究では、2種類の複製に基づく耐故障化手法に対して、従来手法よりオーバーヘッドを減少させる手法の改良を提案している。まず1つ目は、リアルタイム並行システムにおいて、稼働中のプロセスの実行状態を定期的に複製する技術である、並行低レイテンシ (Concurrent Low-Latency, CLL) チェックポイントと呼ばれる従来手法を改良した、TIC-CKPT である。2つ目は、並列ファイルシステムにおいて、ファイル名、アクセス権限、および格納場所といったメタデータへのアクセスを制御するメタデータサーバ (Metadata Server, MDS) の冗長化に関する従来手法である、アクティブ・スタンバイ構成方式を改良した、PARTE ファイルシステムである。

論文は、以下の4つの章から構成されている。

第1章では、まず本論文の研究背景として、上記2種類の耐故障化に関する従来手法の問題点を挙げ、提案手法による問題点の解決方法の概要を説明している。

第2章では、TIC-CKPT 手法について詳述している。既存チェックポイント手法である CLL は、チェックポイントされるプロセスのメモリアドレスを共有する仮想アドレス空間を生成し、OS が管理しているページテーブル全てを走査してメモリ領域を書き込み不可にする。チェックポイントされるプロセスは Copy on Write (COW) 機能を利用することによりメモリ書き込み時には当該ページをコピーして利用する。これにより一貫性のあるメモリ領域を不揮発ストレージにコピーできる。この既存手法に対して、TIC-CKPT は、ページテーブルを走査する代わりに変換ルックアサイドバッファ (Translation Look-aside Buffer, TLB) を操作してメモリ領域を書き込み不可にする。また、チェックポイントされるプロセスのメモリアドレスを共有する仮想アドレス空間を生成せずに直接メモリ領域を不揮発ストレージにコピーする。チェックポイントされるプロセスがメモリ書き込みする時、当該メモリ領域をバッファ領域にコピーし、そのデータを不揮発ストレージにコピーするという手法である。また TIC-CKPT 手法は、インクリメンタルチェックポイント、すなわち2回目以降のチェックポイント

処理の際に、前回との差分のみ反映させることにより、さらなる性能向上が可能であるとしている。さらに TIC-CKPT 手法の有効性を実験により評価し、これまでの既存研究と比較して改善できていることを確認している。

第 3 章では、PARTE ファイルシステムについて詳述している。前提として、各ファイルがある固定サイズの断片に分けられ、各断片とその複製が複数のストレージサーバに分散して格納されるような分散ファイルシステムを想定する。その上で、従来のアクティブ・スタンバイ構成では、通常時にアクセスされるアクティブ MDS と、そこから定期的に複製を取る冗長化用のスタンバイ MDS が用意され、前者の故障時には後者を使用するが、可能な限り最新のアクティブ MDS と同じメタデータを提供するために、最新の複製後のメタデータアクセスログを利用した復旧手続きが実行される。そのため、スタンバイ MDS に変更履歴を適用する際にサービスが停止し、また変更履歴の一部が失われる場合があり、変更履歴を正しく反映できない、という問題がある。これに対し PARTE は、ストレージサーバに格納するファイル断片に対して、その断片に関する必要最小限のメタデータをヘッダとして付加して格納する。その上で、ヘッダ内のメタデータが常に整合性を維持するように管理更新する。これにより、スタンバイ MDS の処理中でも、ヘッダ内のメタデータの参照・更新により、メタデータサービスが継続でき、MDS だけでなくストレージサーバにも最新のメタデータ情報が格納されているので、最新のメタデータ情報としてより正確なものが得られる。さらに PARTE の有効性を実験により評価し、これまでの既存研究と比較して改善できていることを確認している。

第 4 章では、本論文のまとめを行った後、PARTE における将来の課題として、より正確なメタデータの復旧を挙げている。

本論文は、以上のような独自かつ先進的な成果を挙げたものであり、審査委員会は、その独創性、有効性は、博士号に十分値するものと判断した。

よって本論文は博士(情報理工学)の学位請求論文として合格と認められる。