

氏 名	やま した たか お 山 下 高 生
学位(専攻分野)	博 士 (情 報 学)
学 位 記 番 号	論 情 博 第 70 号
学位授与の日付	平 成 18 年 7 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	Dynamic Control of Distributed Loosely Coupled Replicas for Processing Weakly Consistent Data (弱一貫性データ処理のための分散疎結合複製ノードの動的制御)
論文調査委員	(主 査) 教 授 石 田 亨 教 授 吉 川 正 俊 教 授 湯 淺 太 一

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、弱一貫性データ処理を行うシステムに関して、ユーザの要求に柔軟に対応できるデータ複製方法について研究した成果をまとめたものであり、6章から構成されている。

第一章は序論であり、背景・目的を概観している。特に、企業システムではスケール柔軟性の確保が必要なこと、および、グリッドによる資源共有はこのスケール柔軟性の確保に有効であることを説明している。次に、スケール柔軟性の確保には、「複製間の非同期更新伝播」および「複数マスタの存在」を特徴とする lazy-group replication が最適であることを示している。その上で、この方式の更新・参照処理を体系的に分析することで、第二章以降で解決すべき三つの問題を導き出している。

第二章は、「更新・参照処理に用いられるタイムスタンプの不正確さが、更新・参照処理負荷を増大させる」という問題を扱っている。本問題は、高精度の時計同期で解決される。まず、時計同期は周波数同期と時刻同期で構成されることを説明し、次に正確な時計同期には高精度周波数同期が不可欠であることを示している。ところで、既存の方法は、低レベルの周波数同期を前提としているため、頻繁な時刻同期を必要とする。このことが、高精度周波数同期を前提とした時、周波数同期品質を逆に悪化させてしまう。これを解決するために、「周波数同期品質の劣化防止」「時刻同期の正確さの向上」「誤差範囲の明確化」を提案している。提案方法は、統計的推定による時刻同期と、時刻同期の必要性検定により構成されている。本方法の評価は、実際のデジタル交換網を用いて行われており、周波数同期精度を劣化させることなく、高精度の時計同期が可能であることが示されている。

第三章は、「データ鮮度の悪化」という問題を扱っている。まず、lazy-group replication において、最新のデータを持つ単一の複製ノードが一般には存在しないことを示している。提案方法は、一つ以上のノードを含む複製ノード集合から取得した情報を用い、要求される鮮度のデータをユーザに提供するものである。まず、更新遅延を統計的に与え、複製ノード集合の情報から計算できる確率的なデータ鮮度を定義している。そして、この確率的なデータ鮮度を満足する要素数最小の複製ノード集合の決定方法を提案している。本方法の評価結果は、データ鮮度が実用的に制御可能であることを示している。

第四章は、第三章で提案されたデータ鮮度改善方法のスケラビリティを、複製ノード集合の代替集合を求めることで実現している。複製ノード集合の大きさは、要求される鮮度の変化に対して大きく変化しない。この特性を利用して、要求鮮度よりも新しいデータを提供する代替集合を求めている。本方法は、鮮度制御のスケラビリティを大きく改善するものである。

第五章では、「一貫性維持のための同期的複製制御が、更新処理のスケラビリティを悪化させる」という問題を扱っている。まず、この問題が量的資源管理で発生することが説明されている。次に、量的資源管理の既存技術として、管理対象となる資源の全体量を複製ノードに分配する Data-Value Partitioning 法を説明している。しかしながら、この技術は、複製ノードに分配する資源の全体量を計算するために、更新情報の同期的な収集を必要とする。この同期的な動作が更新処理のスケラビリティを悪化させるのである。そこで、資源の累積的変更可能量を定義し、この値が、複製ノードの更新処理に

より単調増加することを示している。この特性から、資源の累積的変更可能量は、任意の時点で複製ノードに分配可能であり、複製制御の非同期化・分散化が実現できることを示している。評価結果は、本方法が Data Value Partitioning 法よりも十分に高い更新処理能力を持つことを示している。

第六章は結論で、本論文で得られた成果を要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、弱一貫性データ処理を行うシステムに関して、ユーザからの要求に柔軟に対応するデータ複製方法について研究した成果をまとめたものである。主な成果は以下の通りである。

1. 既存の方法は、マスタ数が一つの場合に限られていたが、本論文ではマスタが複数の場合のデータ鮮度制御方法を提案している。まず、更新遅延が統計的に変化することを前提とし、一つ以上の複製ノードの持つ情報から提供できるデータの鮮度を定義している。そして、ユーザが鮮度を指定した時、その鮮度のデータを提供可能な複製ノードの決定方法を示している。またこの方法は、複製ノード数の最小化を保障している。提案方法の評価結果は、低い計算負荷で、要求される鮮度のデータを提供できることを示している。

2. データ更新・参照時に用いられるタイムスタンプの不正確さにより、更新・参照処理の負荷が増大するという問題を、高精度時計同期で解決している。高精度時計同期には、高精度周波数同期が不可欠であるが、既存の方法は、頻繁な時刻同期により周波数同期品質を劣化させてしまう。提案方法は、時刻同期精度を統計的に推定すること、および、統計的検定を用いて時刻同期の必要性を判定することを特徴としている。これにより、周波数同期品質の劣化防止、時刻同期の正確さの向上、誤差範囲の明確化を実現している。実環境で評価を行い、本方法で高精度時計同期が可能であることを示している。

3. 更新時の一貫性維持に必要な同期的複製制御が、更新処理能力を悪化させるという問題を、複製制御の非同期化・分散化で解決している。提案方法は、既存方法では未解決の量的資源管理を対象としている。既存の方法では、資源量全体を各複製に分配する。この資源量は、ある時点でのシステムのグローバル状態である。このグローバル状態を把握する為の同期的複製制御が、更新処理能力を悪化させるのである。これに対し提案方法は、資源量に対する変更量の累積値を基に、各複製ノードが使用できる資源量を決めている。この累積値が単調増加するという特性により、一時的な値による資源分配を可能にし、複製制御の非同期化・分散化を実現している。評価により、提案方法が高い更新処理能力を保つことが示されている。

以上、本論文はユーザからの要求に柔軟に対応するデータ複製方法について研究した成果をまとめたものであり、学術上、実際に寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成18年6月19日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。