OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	A Study on Partial Snapshots and Coordinator Replication for Fault-Tolerance of Large-scale Distributed Systems
Author(s)	金, 鎔煥
Citation	大阪大学, 2015, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/52013
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

論 文 内 容 の 要 旨

氏 名 (金 鎔煥)

論文題名

A Study on Partial Snapshots and Coordinator Replication for Fault-Tolerance of Large-scale Distributed Systems
(大規模分散システムの耐故障性のための部分スナップショットとコーディネータレプリケーションに関する研究)

論文内容の要旨

A distributed system consists of autonomous computing entities (i.e., computers, usually called nodes) that are connected with each other by asynchronous communication links. Nodes communicate with each other by exchanging messages to solve a problem. A fault-tolerant system can continue the correct execution even in the presence of hardware and/or software faults. Fault-tolerance is the attribute that enables a system to achieve fault-tolerant operation. Because distributed systems are prone to be fault, fault-tolerance is one of the most important issues in designing reliable distributed systems.

The fault-tolerance of the distributed systems can be guaranteed and implemented using redundancy. There are three kinds of redundancy: information redundancy, time redundancy, and physical redundancy. With information redundancy, some extra bits are added for recovery of data when some of data are corrupted or lost. Time redundancy makes a system to execute the same action again, if necessary. Physical redundancy is implemented by adding extra computing entities (i.e. nodes) and makes it possible for the system as a whole to tolerate the loss or malfunctioning of some components.

In this dissertation, we introduce two methodologies of the fault-tolerance with some practical applications.

A Snapshot Algorithm for Large-scale Systems

We discuss checkpoint-rollback recovery which is a universal method for restoring distributed systems after faults using time redundancy approach. To realize checkpoint-rollback recovery, recording a consistent global state is required for the checkpointing, and it can be taken by a specific algorithm, called a snapshot algorithm. Therefore, checkpointing requires a sophisticated snapshot algorithm especially if the systems are large-scale, since repeatedly taking a global snapshots of the whole system requires unacceptable communication cost. As a sophisticated snapshot algorithm, a partial snapshot algorithm has been introduced that takes a snapshot of a subsystem consisting only of the nodes that are communication-related to the initiator instead of a global snapshot of the whole system. In this dissertation, we modify the previous partial snapshot algorithm to create a new one that can take a partial snapshot more efficiently, especially when multiple nodes concurrently initiate the algorithm. And we show from some experiments that the proposed algorithm greatly reduces the amount of communication needed for taking a partial snapshot.

A Cooperative NameNode Cluster for HDFS

We introduce a new architecture of Hadoop distributed file system (HDFS) using the physical redundancy approach. Recently, HDFS has attracted much attention from engineers and researchers as an emerging and effective framework for Big Data, because it can manage a huge amount of data with high performance and reliability using only commodity hardware. However, HDFS consists of a single coordinator (known as a master node), called a NameNode, and many worker nodes, called DataNodes, and NameNode manages the entire namespace of a file system. This causes the single point of failure (SPOF) problem because the file system becomes inaccessible when the NameNode fails. This also causes a bottleneck of efficiency since all the access requests to the file system have to contact the NameNode. In this dissertation, we propose a new architecture of HDFS which allows multiple NameNodes to resolve these problems. We also evaluate our proposed system's performance and the effect of the load balancing compared with related works.

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名（　金　鎔煥　）		
論文審査担当者	（職）	氏　名
	主 査　教授	増澤 利光
	副 査　教授	萩原 兼一
	副 査　教授	楠本 真二
	副 査　准教授	角川 裕次
	副 査　（元）主任研究員	櫟 粛之（NTT コミュニケーション科学基礎研究所）

論文審査の結果の要旨

膨大な数の計算機で構成された大規模分散システムでは、構成要素の計算機の故障は避けられず、一部の計算機が故障しても分散システムが正しく動作できる耐故障性の実現が重要である。本論文では、大規模分散システムにおいて、耐故障性を実現するための二つの汎用的アプローチを提案している。

チェックポイント・ロールバック手法は、分散システムにおいて耐故障性を実現する汎用的な手法である。しかし、大規模分散システムに適用するためには、チェックポイントを作成する分散スナップショットアルゴリズムの効率化が必要となる。本論文では、大規模で動的な分散システムでも効率的に動作する分散スナップショットアルゴリズムを提案している。提案アルゴリズムはシステム全体のチェックポイントを作成するのではなく、アプリケーションの通信パターンに応じて、部分システムのチェックポイントを作成することで効率化と動的環境への適用性を実現している。このとき、アルゴリズムの開始ノードを単一ノードに限るという既存研究の制約を解消し、複数ノードにより並行的に開始されたアルゴリズムの実行を統合することで、並列処理効果による効率向上も実現している。提案手法の性能向上の効果を実証するために、実際の分散システムを用いた評価実験を行い、負荷の高い環境において、既存研究に比べシステムの処理負荷を約64%まで削減できることを確認した。

次に、ビッグデータの管理および処理に利用されているHadoop分散ファイルシステム（HDFS）における耐故障性を実現する新たなアーキテクチャを提案している。HDFSにはNameNodeと呼ばれる単一のマスタノードが存在するため、NameNodeの故障によりシステムが利用不可となる問題（単一障害点：SPOF）、NameNodeが性能ボトルネックになる問題、さらに、NameNodeのメモリ量制約による拡張困難性の問題を有している。本論文では、複数のNameNodeを導入し、これらのNameNodeの協調動作により、上記の問題を解決する手法を提案している。本手法では複数のNameNodeを協調動作させるため、単一のNameNodeを用いる従来法に比べ、通常運用時に性能オーバーヘッドが生じる。このオーバーヘッドを評価するために、実際のHDFSを用いた評価実験を行い、負荷が高い環境において、複数NameNodeによる負荷分散を利用しなくてもオーバーヘッドが約5%以内であることを確認した。さらに、複数NameNodeによる負荷分散を利用した場合、負荷の高い環境において、オーバーヘッドにかかわらず、処理速度が約20%削減することを確認した。

本論文の提案手法は、大規模分散システムの耐故障性を実現する汎用的手法であり、実際の分散システムでの効果も確認しており、大規模分散システムの信頼化向上に大いに寄与するものである。よって、博士（情報科学）の学位論文として価値のあるものと認める。