

論文内容の要旨

博士論文題目 A study of scalable data center management schemes using structured overlay network (構造化オーバーレイを用いたスケーラブルなデータセンタ管理手法に関する研究)

氏 名 水谷 后宏

(論文内容の要旨)

The term “big data” refers to an extremely large amount of valuable data (e.g., sensor data, life logs, etc.), and it is generally managed by the cloud (i.e., data centers). As the volume/variety of big data and the demand for it increase, data centers must be upgraded and expand in scale. As a result, data center management will become highly complex, and network operation will pass entirely beyond human control. Therefore, automatic data center management will become an essential technique for stably sustaining large-scale data center networks. To achieve automatic data center management, we apply structured overlay techniques to the management task.

The structured overlay approach is effective for automatic servers and data management, but its performance is not suitable for big data management. For example, conventional structured overlays require (1) a number of queries, (2) a large amount of data migration for load balancing, and (3) longer mean times to repair (MTTR) for big data management as the scale of the data center expands. These requirements incur high capitalization and operation costs for data center developers, regardless of whether automatic management is realized. This dissertation introduces three novel methods of improving the efficiency of conventional structured overlays to solve problems (1)–(3). To reduce query traffic, we propose a novel bulk query transfer scheme. To reduce data migration traffic, we propose an optimal load balancing policy based on a kernel estimation scheme. Finally,

we use a testament protocol to improve the MTTR. With these schemes implemented, the structured overlay approach can enable automatic data center management at significantly lower cost.

(論文審査結果の要旨)

本論文は、膨大かつ複雑な特性を持つビッグデータの増加により、配信基盤となるデータセンタネットワークの規模拡張性が低下し、かつ管理コストが増加する問題に対して、構造化オーバーレイネットワークを適用することで、当該問題を解決できることを示した。また、構造化オーバーレイネットワークをデータセンタネットワーク管理に適用する際の3つの問題点(データ配送、負荷分散、耐故障性)を明らかにしたうえで、当該問題に対して3つの手法を提案し、シミュレーションおよびエミュレーションでの評価を通して、その有効性を明らかにした。提案した3手法は、既存の構造化オーバーレイネットワークにおける経路制御方式に依存しないように設計され、また、理論解析・プロトコル解析の結果を通して得られた知見を活かすことで実現された。

本論文の成果は以下に要約される。

1. 構造化オーバーレイネットワークにて、膨大なクエリ・データを配送する際に発生する、トラフィックおよび配送時間に着目した。既存手法では、クエリ・データの転送要求毎(e.g., put/get 命令)に、当該クエリの担当ノードを探索するため、クエリ量に比例して探索回数やその際に発生するトラフィックが増加する問題があった。本研究では、複数のクエリ・データをまとめて配送する手法を実現した。本手法は、クエリ・データをまとめる際の計算量が小さく、既存のクエリ・データ配送方式よりも、トラフィック削減率が高いという特徴を持つ。これらの特徴は、理論解析とエミュレーション実験の両結果にて明らかにされた。
2. 地理位置情報や時系列情報を構造化オーバーレイネットワーク上で扱う際、データへのアクセス数が偏る場合がある。既存研究では、アクセス数の偏りを解消するために、膨大なデータの移動やノードの再配置を行っていた。提案手法では、アクセスが集中しているデータを複数のノードで管理することにした。その際、どのデータをいくつのノードで管理すれば負荷が均等になるかという問題を最適化問題に帰着し、解くことで、理論的に根拠ある負荷分散手法を達成した。
3. 構造化オーバーレイネットワークの耐故障性は、各ノードが持つ経路制御表の管理手法に依存する。既存手法では、経路制御表の二乗個のノード情報を更新することで、高い耐故障性を維持してきた。しかし、ノードの数が数百万に達するデータセンタネットワークでは、各ノードが数百のノード情報の更新を行わなければならない。本研究では、経路制御表の2倍の数のノード情報を更新するだけで、既存手法と同等の耐故障性を保証する手法を実現した。本手法はプロトコル解析だけでなくシミュレーション結果からも有効性が明らかになった。

以上のように、本論文はビッグデータに起因するデータ・クエリの増加や負荷の偏りを自律的かつ永続的に解消する構造化オーバーレイネットワークを提案し、データセンタネットワーク管理の自律化や低コスト化の実現に貢献した。また、本論文は、データセンタネットワークの動向を調査し、構造化オーバーレイネットワークによるデータセンタネットワーク管理の実現性を明らかにすると同時に、実現後にデータセンタネットワークが直面する問題点も明らかにした。今後も、ビッグデータの管理が複雑化することが予想され、自律的なデータセンタネットワーク管理手法が重要になってくることが考えられる。本論文にて提案されている構造化オーバーレイネットワークを用いたデータセンタネットワーク管理手法は、現状のビッグデータの特性を考慮しつつ、データセンタネットワークの規模拡張性と低コスト化の両立を兼ねた手法となっており、学術上だけでなく、社会的な貢献度も高いと評価できる。よって本論文は博士(工学)の学位としてふさわしいものと認める。