

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 4 月 21 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24650012

研究課題名(和文) ダイナミクスを有する超大規模分散システムのためのメソスコピック設計・解析手法

研究課題名(英文) Mesoscopic design and analysis for very large scale distributed systems with dynamics

研究代表者

増澤 利光 (MASUZAWA, Toshimitsu)

大阪大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：50199692

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、超大規模分散システムを対象とした分散アルゴリズムの新たな設計・解析手法として、メソスコピックアプローチに基づく手法を提案し、その有効性を実証することである。メソスコピックアプローチとは、従来の巨視的手法と微視的手法の中間的手法であり、それぞれの特長である、スケーラビリティと多様なダイナミクスへと適用可能性の両立を目指した。具体的には、以下の研究課題に取り組んだ。

(1) メソスコピックアプローチのための超大規模分散システムモデルの検討。(2) 事例研究による、メソスコピックアプローチの有効性の実証。(3) メソスコピックアプローチに基づく設計・解析法の方法論の検討。

研究成果の概要(英文)：The aim of this research is to investigate possibility of a mesoscopic approach to design and analysis of distributed algorithms for very large scale distributed systems. The mesoscopic approach is an intermediate approach between classical macroscopic and microscopic approaches, and has possibility to bring the advantages of the both approaches: scalability and adaptability to diverse dynamics. We considered the following subjects.

(1) Development of the computation model of very large scale distributed systems suitable for the mesoscopic approach. (2) Case studies of the mesoscopic approach to prove its effectiveness. (3) Proposal of a mesoscopic design and analysis methodology of distributed algorithms for very large scale distributed systems.

研究分野：情報科学

キーワード：アルゴリズム 分散アルゴリズム 分散システム ネットワーク メソスコープ 無線ネットワーク P
2Pネットワーク センサネットワーク

1. 研究開始当初の背景

いつでも、どこでも、だれでもネットワークにアクセスできるユビキタスネットワークが整備されつつあり、ユビキタスネットワークを活用した超大規模分散システムの構築が進められている。ユビキタスネットワークでは、構成要素（計算機、センサー、記憶装置、通信チャネル、利用者など）の状態が時々刻々変化しており、さらに、そのダイナミクスは空間・時間によって異なる特性を有している。そのため、ネットワーク環境の多様なダイナミクスに自律的に適応できる分散システムを実現することが重要な課題となっている。

分散アルゴリズムの従来の設計・解析法は、個々の構成要素の動作・特性に着目する微視的アプローチ（ボトムアップ法）が主流である。しかし、微視的アプローチにはスケーラビリティがなく、ダイナミクスを有する超大規模分散システムの自律適応性を設計・解析するのは非常に困難である。一方、スケーラビリティを保証するために、分散システムの大域的な動作・特性に着目する巨視的アプローチ（トップダウン法）も試みられている。しかし、分散システムの一様性を仮定することが多く、巨視的アプローチは、超大規模分散システムが有するダイナミクスの空間・時間的多様性を扱うのが困難である。

2. 研究の目的

ダイナミクスを有する超大規模分散システムを対象に、ダイナミクスの空間・時間的多様性に対応でき、さらにスケーラビリティにも優れた設計・解析法として、メゾスコピックアプローチに基づく手法を新たに提案することを目的とする。つまり、微視的および巨視的アプローチ両方の利点を有する設計法として、メゾスコピックアプローチを試み、この手法により、多様なネットワークダイナミクスに対する自律適応性とスケーラビリティを両立できることを実証する（下表）。超大規模分散システムは、サブネットワーク、クラスタ、コミュニティ、ネットワーク中間層など、さまざまな物理的あるいは論理的サブシステムを内包している。これらの構造や特性に着目することにより、効果的なメゾスコピック設計・解析法の開発を目指す。

	ダイナミクスの多様性	スケーラビリティ
微視的手法	○ 対応可能	× 有しない
巨視的手法	× 対応不可能	○ 有する
メゾスコピック手法	○ 対応可能	○ 有する

3. 研究の方法

研究代表者と2名の研究分担者が中心となり、海外の共同研究者や研究代表者が指導する大学院学生の協力を得ながら、以下の研究テーマに取り組む。

(1) メゾスコピックアプローチのための超大規模分散システムモデルの検討

超大規模分散システムのメゾスコピック設計・解析では、微視的アプローチのように個々の構成要素を扱うのではなく、メゾスコピックレベルの構造や特性に着目することによりスケーラビリティを保証する。また、巨視的アプローチは、分散システムの均一性を仮定した上で、分散システムの大域的動作や特性を設計・解析するものであるが、メゾスコピック設計・解析では、メゾスコピックレベルの構造や特性の多様性を扱うことが可能である。そこで、このメゾスコピックアプローチを実現するために、分散システムのメゾスコピックレベルの構造や特性を解析し、メゾスコピック設計・解析のための超大規模分散システムモデルについて検討する。

(2) 事例研究による、メゾスコピックアプローチの有効性の実証

分散システムのさまざまなモデルにおいて、多くの分散システムの基盤となる問題を対象に、メゾスコピック設計・解析の事例研究を行い、メゾスコピックアプローチの有効性を実証する。

(3) メゾスコピックアプローチに基づく設計・解析法の方法論の検討

超大規模分散システムを対象としたメゾスコピックアプローチの事例研究で得た知見をベースに、超大規模分散システムのためのメゾスコピック設計・解析の方法論を検討する。

4. 研究成果

上記の各研究テーマについての主要な成果をまとめる。

(1) メゾスコピックアプローチのための超大規模分散システムモデルの検討

① 分散システムの空間的サブシステムとして、ネットワークの様々なクラスタ構造について調査し、分散アルゴリズムの性能に影響を与える特徴量（クラスタノード数、クラスタ直径、クラスタ重複度など）を調査した。また、どのような特性を持つクラスタが、効率的な分散アルゴリズムの設計に有用であるかについて検討した。さらに、時間的ダイナミクスに対応するために、クラスタを構成する自律適応型分散アルゴリズムについて検討した。

② 代表的な分散処理システムである Hadoop について、メゾスコピックレベルの対象として仮想計算機を取り上げ、仮想計算機を想定した分散システムのモデル化を行った。

(2) 事例研究による、メゾスコピックアプローチの有効性の実証

① Hadoop について、仮想計算機に基づくメゾスコピック手法の有用性を実証するために、仮想計算機を対象とした分散アルゴリズムを設計し、その性能解析および実システムを用いた性能評価を行った。この実証実験により、仮想計算機を導入することにより、自律適応的な分散アルゴリズムの設計容易性とスケーラビリティ（性能）を両立できることを確認した。

さらに、NameNode が管理するメタデータのフラグメントをメゾスコピックレベルの対象として取り上げ、故障耐性とスケーラビリティを両立するための分散アルゴリズムを提案した。

② 大規模分散システムを対象とする分散アルゴリズムの従来の微視的設計では、個々の計算機の振る舞いを把握する必要がある。自律適応的分散アルゴリズムの設計は非常に困難である。メゾスコピックレベルの対象としてモバイルエージェントを導入することにより、自律適応的分散アルゴリズムの設計容易性を実現できる。そこで、モバイルエージェントを利用した分散アルゴリズムについて検討した。特に、モバイルエージェントを利用したメゾスコピックアプローチにおいて、有用な基盤技術として利用できる、部分集合問題や欽一配置問題を定式化し、これらの問題に対する、モバイルエージェントを用いた分散アルゴリズムを提案した。この手法により、大規模分散システムに対する分散アルゴリズムの設計容易性とスケーラビリティ（性能）を両立できることを確認した。

③ P2P ネットワークに対し、効率的な分散処理を可能とするメゾスコピックレベル構造として仮想ネットワークを対象とした。仮想ネットワークを自律適応的に構築するための自己安定分散アルゴリズムを提案した。

④ モバイル・アドホック・ネットワークに対し、メゾスコピックレベル構造として仮想グリッドを導入した。仮想グリッドにおいて、2 ノード間の最短経路を自律適応的に構成する分散アルゴリズムを提案した。

⑤ モバイル・アドホック・ネットワークにおける通信パターンを抽象化したポピュレーションモデルをメゾスコピックレベルのモデルと見なし、ポピュレーションモデル上の自律適応的分散アルゴリズムを提案した。

(3) メゾスコピックアプローチに基づく設計・解析法の方法論の検討

① 無線センサーネットワークについて、メゾスコピックレベル構造として、さまざまなクラスタ構造を導入した。対象とする問題によって、クラスタ構造の望ましい特性は床なるが、問題に適したクラスタ構造を採用し、その特性を利用することで、効率的な分散アルゴリズムを設計する方法について検討した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① Yonghwan Kim, Tadashi Araragi, Junya Nakamura, Toshimitsu Masuzawa: “A distributed and cooperative NameNode cluster for a highly-available Hadoop distributed file system,” IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E98-D, pp. 835-851, 2015. 査読有.
DOI: 10.1587/transinf.2014EDP7258
- ② Fukuhito Ooshita, Shinji Kawai, Hirotsugu Kakugawa, Toshimitsu Masuzawa: “Randomized gathering of mobile agents in anonymous unidirectional ring networks,” IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, Vol. 25, pp. 1289-1296, 2014, 査読有.
DOI: 10.1109/TPDS.2013.259
- ③ Shinji Kawai, Fukuhito Ooshita, Hirotsugu Kakugawa, Toshimitsu Masuzawa: “Analysis of distributed token circulation algorithm with faulty random number generator,” Parallel Processing Letters, Vol. 24, pp. 1289-1296, 2014, 査読有.
DOI: 10.1142/S0129626414500029
- ④ Yonghwan Kim, Tadashi Araragi, Junya Nakamura, Toshimitsu Masuzawa: “A concurrent partial snapshot algorithm for large-scale and dynamic distributed systems,” IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E97-D, pp. 65-76, 2014. 査読有.
DOI: 10.1587/transinf.E97.D.65
- ⑤ Daisuke Baba, Tomoko Izumi, Fukuhito Ooshita, Hirotsugu Kakugawa, Toshimitsu Masuzawa: “Linear time and space gathering of anonymous mobile agents in asynchronous trees,” Theoretical Computer Science, Vol. 478, pp. 118-126, 2013. 査読有.
DOI: 10.1016/j.tcs.2013.01.022

[学会発表] (計 11 件)

- ① Ajoy Kumar Datta, Lawrence L. Larmore, Toshimitsu Masuzawa: “Constant space self-stabilizing center finding in anonymous tree networks,” the 2015 International Conference on Distributed Computing and Networking, 2015年01月04日～2015年01月07日, Goa (India).
- ② Yuichi Sudo, Fukuhito Ooshita, Hirotsugu Kakugawa, Toshimitsu

- Masuzawa: “Loosely-stabilizing leader election on arbitrary graphs in population protocols,” the 18th International Conference on Principles of Distributed Systems. 2014年12月16日～2014年12月19日, Cortina d’Ampezzo (Italy).
- ② Ajoy Kumar Datta, Lawrence L. Larmore, Toshimitsu Masuzawa: “A communication-efficient self-stabilizing algorithm for breadth-first search trees,” the 18th International Conference on Principles of Distributed Systems, 2014年12月16日～2014年12月19日, Cortina d’Ampezzo (Italy).
- ④ Jun Ri, Fukuhito Ooshita, Hirotsugu Kakugawa, Toshimitsu Masuzawa: “Algorithms for group gossiping of mobile agents,” 電子情報通信学会技術研究報告 (コンピュータシオン), 2014年9月2日, 豊橋技術科学大学 (愛知県・豊橋市) .
- ⑤ Masahiro Shibata, Fukuhito Ooshita, Hirotsugu Kakugawa, Toshimitsu Masuzawa: “Move-optimal partial gathering of mobile agents in asynchronous trees,” the 21st International Colloquium on Structural Information and Communication Complexity, 2014年7月23日～2014年7月25日, 高山グリーンホテル (岐阜県・高山市) .
- ⑥ 伊藤瑠美, 大下福仁, 角川裕次, 増澤利光: “弦付リング構成のための空間計算量に優れた自己安定アルゴリズム,” 電子情報通信学会技術研究報告 (コンピュータシオン), 2014年4月24日, 東北大学 (宮城県・仙台市) .
- ⑦ Shusuke Takatsu, Fukuhito Ooshita, Hirotsugu Kakugawa, Toshimitsu Masuzawa: “Zigzag: Local-information-based self-optimizing routing in virtual grid networks,” the 33rd International Conference on Distributed Computing Systems. 2013年7月8日～2013年7月11日, Philadelphia, Pennsylvania (USA).
- ⑧ Karim Bessaoud, Alain Bui, Toshimitsu Masuzawa, Laurence Pilard: “Transitive approach for topology control in wireless sensor networks,” the 9th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference, 2013年7月1日～2013年7月5日, Cagliari, Sardinia (Italy).
- ⑨ 高津周佑, 大下福仁, 角川裕次, 増澤利光: “仮想グリッドネットワークにおける葉が多いBFS木の安全自己安定構成法,” 電子情報通信学会技術研究報告 (コンピュータシオン), 2013年3月10日, 明治大学 (東京都・千代田区) .
- ⑩ Masahiro Shibata, Shinji Kawai, Fukuhito Ooshita, Hirotsugu Kakugawa, Toshimitsu Masuzawa: “Algorithms for partial gathering of mobile agents in asynchronous rings,” the 16th International Conference on Principles of Distributed Systems, 2012年12月18日～2012年12月20日, Rome (Italy).
- ⑪ 石井朝葉, 金鎔煥, 中村純哉, 大下福仁, 角川裕次, 増澤利光: “マルチコアCPU環境における仮想計算機を用いたHadoopシステムの評価,” 情報処理学会研究報告 (ハイパフォーマンスコМПユーティング), 2012年10月3日～2012年10月4日, 沖縄産業支援センター (沖縄県・那覇市) .

6. 研究組織

(1) 研究代表者

増澤 利光 (MASUZAWA, Toshimitsu)
 大阪大学・大学院情報科学研究科・教授
 研究者番号: 50199692

(2) 研究分担者

角川 裕次 (KAKUGAWA, Hirotsugu)
 大阪大学・大学院情報科学研究科・准教授
 研究者番号: 80253110

大下 福仁 (OOSHITA, Fukuhito)
 大阪大学・大学院情報科学研究科・助教
 研究者番号: 20362650