

令和元年6月24日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00018

研究課題名(和文)分散ネットワークにおけるプロセス相互作用の解明

研究課題名(英文) Interaction patterns of processes in distributed network environment

研究代表者

角川 裕次 (Kakugawa, Hirotsugu)

大阪大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：80253110

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の成果は、ネットワークで接続された多数のコンピュータ群が、相互に待ち合わせを行う仕組みや、情報収集を行う仕組みにおいて、従来よりも高度なものを考案した。具体的に言えば、サーバ群の動的な交代のしくみ、IoTにおける無線充電アルゴリズム、などである。本研究課題は近年ますます複雑になるコンピュータネットワークにおいて、より高度なネットワークアプリケーションを構築する際の理論的基盤となる重要なものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、分散コンピューティングにおける基礎理論の一分野である分散アルゴリズムに関するいくつかの課題の解決を行った。多数のコンピュータ群で相互にサーバを互選しながら負荷共有を行う分散相互包含排除問題に対する解法を提案した。また、急速に発展し続ける無線電力伝送をIoTシステムに適用するための分散アルゴリズムを提案した。この研究課題は、大規模化・複雑化するコンピュータネットワークをより効率的に動作させるために有用な基礎技術となるものである。

研究成果の概要(英文)：The research area of this project is theoretical distributed computing, especially a system with large number of computers. The major achievements of this project is in twofold: (1) distributed algorithms for synchronizing computers which is useful for dynamic handover of servers, and (2) distributed algorithms for wireless electric power transmission for IoT systems. The goal of this research project is an important theoretical foundations of advanced network applications of the next generation.

研究分野：計算機科学

キーワード：分散アルゴリズム 分散相互包含排除 自己安定分散システム 自己安定分散システム モバイルエージェント センサネットワーク

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

現在のコンピュータネットワークは、サーバ、PC、スマートフォン、無線センサネットワークのみならず、IoT (Internet of Things) の爆発的な拡大の潮流の通り、ネットワーク接続されるコンピュータの数は著しく増加しつつある。膨大な数のコンピュータがネットワーク接続されていることから、高度な分散システム設計手法の確立が必須な状況にある。そこで我々は、多数のコンピュータ間の相互作用こそが分散システムの振る舞いそのものであるという観点に立ち、研究を開始した。

2. 研究の目的

上記の研究開始当初の背景を鑑みて我々は、コンピュータ間の相互作用のパターンという観点より、様々なネットワークアプリケーション共通の土台となるアルゴリズム構造を解明して行くことを研究目的に設定した。本研究は分散システムの大局的な観点、および、局所的な観点の両方向より研究を進める点に特徴がある。一連の研究により、局所的な通信パターンにより、大局的な情報の収集、および、局所的ネットワーク構造を自己組織的に求める分散アルゴリズムの設計手法の確立を目指した。これが達成できれば、資源の乏しいノードを用いてのネットワークの超大規模化が実現可能となり、応用の観点から非常に大きな意義がある。

3. 研究の方法

本研究計画は主として理論的側面からの分散アルゴリズム設計の研究を中心にして、コンピュータシミュレーションによる実験的評価も取り入れた。

【1. 分散相互包含排除問題に対する分散解法】

既発表の基礎的なアルゴリズムをさらに高度化したアルゴリズムを設計し、その理論的な正しさの証明を行った。具体的には、未解決であったいくつかのパラメータ (l, k) での (l, k) -CS 問題に対する分散アルゴリズムを設計することで研究を推進した。

【2. ネットワーク構成問題に対する故障耐性の優れた分散解法】

局所的なネットワーク構造の計算を行うアルゴリズムを設計し、その理論的な正しさの証明を行った。具体的には、局所的な疎な構造をもつ部分ネットワークを計算する局所分散アルゴリズムを設計する問題に取り組んだ。この問題を考えた理由は、以下の通りである。ノード間の情報交換を局所化超巨大な無線センサネットワークでは、任意の2ノード間で1対1の通信を行うためのルーティングを行うことは全く現実的でない。なぜなら、経路表が膨大となり、また、大多数のノードは局所的な処理だけを行えば十分と考えられるからである。そこで、本課題では、巨大でフラットなネットワーク構造から局所的な構造を求め、ノード間の情報交換を局所化する局所分散アルゴリズム手法を考案した。

【3. モバイルエージェントを用いた分散協調問題への解法】

ネットワーク中を自律的に移動するモバイルエージェント(ボット的一种)により、ネットワーク中の情報収集を行う問題を、理論的、特に計算の複雑度の観点から研究を進めた。リングネットワークや木ネットワーク上でのモバイルエージェントが集合する問題を研究し、可解性や移動複雑度を明かにした。また、個体群モデルと呼ばれる多数の微小ノードで構成されるネットワークを想定した計算モデルにおいて、リーダーを選ぶ問題に取り組み、優れたアルゴリズムを得た。

【4. 無線センサネットワークにおける無線給電によるバッテリー充電問題への解法】

無線給電機能を有するIoTシステムを想定して、バッテリー残量を均一化する分散アルゴリズムを考案し、コンピュータシミュレーションによる評価実験を行った。これまでに知られているモバイルエージェントや個体群プロトコルの手法を適用することで、既存のアルゴリズムよりも優れた性能を有する分散アルゴリズムを得た。

4. 研究成果

各テーマに対する研究成果は以下の通りである。

【1. 分散相互包含排除問題に対する分散解法】

発表文献 [4] では、従来よりもさらに一般化した問題設定を考えた分散相互包含排除問題への分散解法を提案した。従来の問題設定では全プロセスが同一のパラメータ (l, k) により相互包含関係を満たすものであったが、この研究では、プロセスごとに異なるように設定できるよう拡張した。発表文献 [7] では、相互包含排除問題の変形である dynamic disjoint two dominating set 問題に取り組み、自己安定分散アルゴリズムの設計を行った。発表文献 [9] では、[7] の成果を発展し、安全収束性を有する性質を付加した自己安定分散アルゴリズムを考案した。

これらの研究を通じて、一般的な (l, k) -CS 問題に対するアルゴリズム設計手法に関して一定の知見を得ることができ、今後の更なる発展研究が可能となった。分散相互包含排除問題に関する研究は、我々が世界において独走をしているといつてよい状態が続いている。

【2. ネットワーク構成問題に対する故障耐性の優れた分散解法】

ネットワーク構成問題に関する分散アルゴリズムを考案し、国内研究会にて発表を行った。しかしわずか1か月前に他の研究者によって既に同様な結果が得られていることが分かり、残念ながら国際会議等での発表は止めざるを得ず、このテーマでの研究は一旦手を引くことにした。今後は別の問題設定を考えて、再度の参入の機会をうかがっている。

発表文献 [14] では、支配集合問題に対する一般化を行った問題設定を提案し、自己安定分散アルゴリズムの提案を行った。これまでの既存研究においてさまざまな一般化問題が提案されているが、本研究成果は我々が知る限りの全ての一般化を含んでいる点に大きな特色がある。

【3. モバイルエージェントを用いた分散協調問題への解法】

発表文献 [1] では、個体群モデルにおける緩安定性を有するリーダー選挙問題に対する分散アルゴリズムを提案した。発表文献 [2] では、モバイルエージェントをリングネットワーク上に等間隔に配置させる問題に対するアルゴリズムを提案した。発表文献 [3], [5] では、モバイルエージェントの部分集合問題に対するアルゴリズムを提案した。

いずれも既存のアルゴリズムよりも優れた性能を有しており、その学術的な意義は大きい。

【4. 無線センサネットワークにおける無線給電によるバッテリー充電問題への解法】

発表文献 [8] では、無線給電の際の送電ロスを少なくするよう工夫をした分散アルゴリズムを2つ提案した。ひとつ目は、ネットワーク全体での充電量のアンバランスさの影響を受けないように、一度の送電量を抑えた方式を、ふたつ目は、個体群プロトコルのリーダー選挙アルゴリズムを応用して、ネットワーク全体での総バッテリー残量を見積もって、分散的に電力を分配する方式である。いずれも既存手法よりも優れた性能を有することを、計算機シミュレーションにより、実験的に示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

[1] Yuichi Sudo, Fukuhito Ooshita, [Hirotsugu Kakugawa](#), [Toshimitsu Masuzawa](#), Ajoy Datta, Lawrence Larmore, "Loosely-Stabilizing Leader Election for Arbitrary Graphs in Population Protocol Model", IEEE Transactions on Parallel & Distributed Systems (TPDS), (to appear). 査読あり

[2] Masahiro Shibata, Toshiya Mega, Fukuhito Ooshita, [Hirotsugu Kakugawa](#), [Toshimitsu Masuzawa](#), "Uniform deployment of mobile agents in asynchronous rings", 10.1016/j.jpdc.2018.03.008, Journal of Parallel and Distributed Computing (JPDC), Vol. 119, pp 92-106, 2018. 査読あり

[3] Masahiro Shibata, Fukuhito Ooshita, [Hirotsugu Kakugawa](#), and [Toshimitsu Masuzawa](#), "Move-optimal partial gathering of mobile agents in asynchronous trees", 10.1016/j.tcs.2017.09.016, Theoretical Computer Science (TCS), Vol. 705, pp. 9-30, 2018. 査読あり

[4] Sayaka Kamei and Hirotsugu Kakugawa, "An Asynchronous Message-Passing Distributed Algorithm for the Generalized Local Critical Section Problem", 10.3390/a10020038, Algorithms, Vol. 10, Article 38, 2017. 査読あり

[5] Masahiro Shibata, Shinji Kawai, Fukuhito Ooshita, Hirotsugu Kakugawa, Toshimitsu Masuzawa, "Partial gathering of mobile agents in asynchronous unidirectional rings", Theoretical Computer Science (TCS), 10.1016/j.tcs.2015.09.012, Vol. 617, pp. 1- 11, 2016. 査読あり

[学会発表](計 12 件)

[6] Yuichi Sudo, Fukuhito Ooshita, Hirotsugu Kakugawa, Toshimitsu Masuzawa, Ajoy K. Datta and Lawrence Larmore, "Loosely-stabilizing Leader Election with Polylogarithmic Convergence Time", The 22nd International Conference on Principles of Distributed Systems (OPODIS), 2018. 査読あり

[7] Sayaka Kamei and Hirotsugu Kakugawa, "Self-stabilizing algorithm for dynamically maintaining two disjoint dominating sets", The 10th International Workshop on Parallel and Distributed Algorithms and Applications (PDAA), 2018. 査読あり

[8] Hiroshi Michizu, Yuichi Sudo, Hirotsugu Kakugawa and Toshimitsu Masuzawa, "Energy Balancing by Wireless Energy Transfer in Sensor Networks", Sustainable Computing Systems Workshop (SUSCW, CANDAR Workshop), 2018. 査読あり

[9] Sayaka Kamei and Hirotsugu Kakugawa, "A self-stabilizing algorithm for two disjoint minimal dominating sets with safe convergence", The 24th International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS), 2018. 査読あり

[10] Masahiro Shibata, Hirotsugu Kakugawa and Toshimitsu Masuzawa, "Space-efficient Uniform Deployment of Mobile Agents in Asynchronous Unidirectional Rings", The 25th International Colloquium on Structural Information and Communication Complexity (SIROCCO), 2018. 査読あり

[11] Tsuyoshi Gotoh, Yuichi Sudo, Fukuhito Ooshita, Hirotsugu Kakugawa and Toshimitsu Masuzawa, "Group exploration of dynamic tori", The 38th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS), 2018. 査読あり

[12] Sayaka Kamei and Hirotsugu Kakugawa, "An asynchronous message-passing distributed algorithm for the global critical section problem", The 9th International Workshop on Parallel and Distributed Algorithms and Applications (PDAA), 2017. 査読あり

[13] Tsuyoshi Gotoh, Fukuhito Ooshita, Hirotsugu Kakugawa and Toshimitsu Masuzawa, "How to simulate message-passing algorithms in mobile agent systems with faults", The 19th International Symposium on Stabilization, Safety, and Security of Distributed Systems (SSS 2017), 2017. 査読あり

[14] Hisaki Kobayashi, Hirotsugu Kakugawa and Toshimitsu Masuzawa, "Brief Announcement: A self-stabilizing algorithm for the minimal generalized dominating set problem", The 19th International Symposium on Stabilization, Safety, and Security of Distributed Systems (SSS 2017), 2017. 査読あり

[15] Masahiro Shibata, Hirotsugu Kakugawa and Toshimitsu Masuzawa, "Brief Announcement: Space-efficient Uniform Deployment of Mobile Agents in Asynchronous Unidirectional Rings", The 19th International Symposium on Stabilization, Safety, and Security of Distributed Systems (SSS 2017), 2017. 査読あり

[16] Sayaka Kamei and Hirotsugu Kakugawa, "An asynchronous message-passing distributed algorithm for the generalized local critical section problem", The Fifth International Conference on Network, Communication and Computing (ICNCC), 2016. 査読あり

[17] Masahiro Shibata, Toshiya Mega, Fukuhito Ooshita, Hirotsugu Kakugawa and Toshimitsu Masuzawa, "Uniform deployment of mobile agents in asynchronous rings", ACM Symposium on

Principles of Distributed Computing (PODC), 2016. 査読あり

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等: なし

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 増澤 利光

ローマ字氏名: Toshimitsu Masuzawa

所属研究機関名: 大阪大学

部局名: 大学院情報科学研究科

職名: 教授

研究者番号(8桁): 50199692

(2) 研究協力者

研究協力者氏名: 亀井清華

ローマ字氏名: Sayaka Kamei

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。