

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 29 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22700074

研究課題名(和文) 動的無線ネットワークにおける高度な故障耐性を持つ分散近似アルゴリズムの設計

研究課題名(英文) A study of fault-tolerant distributed approximation algorithms for dynamic wireless networks

研究代表者

亀井 清華 (Kamei, Sayaka)

広島大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：90434977

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：動的無線ネットワークに適した分散アルゴリズムとして、安全に収束する自己安定分散アルゴリズムの研究をおこなった。これは、故障が起こった後の任意の状況から短時間で(解の質を問わない)安全な状況に遷移し、そこからは安全性を崩さずに最適解に収束するという性質を持つ分散アルゴリズムである。様々な最適化問題にモデル化される分散問題について、この性質を持つ分散近似アルゴリズムの設計を行った。

研究成果の概要(英文)：As distributed algorithms for dynamic wireless networks, we designed self-stabilizing distributed algorithms with safe convergence property. A self-stabilizing algorithm with safe convergence property quickly moves to a safe configuration regardless of the quality of solutions after the failure occurred. After that, it converges to the optimal solution without breaking the safety property. For distributed problems which can be modeled by NP-hard problems, we designed self-stabilizing distributed approximation algorithms with safe convergence property.

研究分野：情報工学

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：分散アルゴリズム 耐故障性 自己安定 近似アルゴリズム 安全収束性 動的ネットワーク 無線ネットワーク

1. 研究開始当初の背景

ネットワーク上で考えられる分散問題の中には、グラフ上の NP 困難な最適化問題としてモデル化できるものが多く存在し、それらを分散最適化問題と呼ぶ。NP 困難問題は多項式時間で解くことが難しいため、実用上、最適解ではなく、それに近い解を求めるアルゴリズムである「近似アルゴリズム」の設計を行う。近似アルゴリズムとは、最悪の場合のアルゴリズムの解と最適解との相対誤差である「近似比」を保証するようなアルゴリズムをいう。

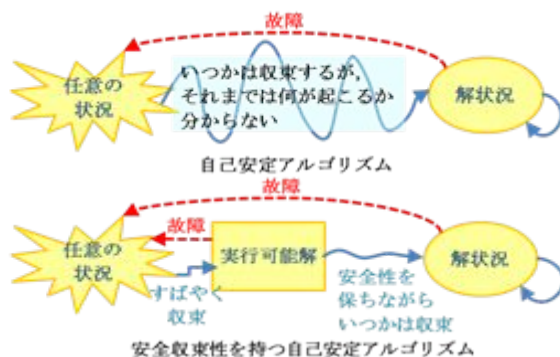
この近似比を保証することを分散アルゴリズムとして実現したものを分散近似アルゴリズムと呼び、これまでも多くの問題に対してその設計が行われてきた。一般に、その計算時間やメッセージ数をかけずに近似比を小さくすることは大変難しいが、このことは動的無線ネットワークにおいては特に問題であるといえる。

無線ネットワークにおいては、一時故障やトポロジーの変化に対する耐性を持つ分散アルゴリズムを考える必要がある。そのような耐性を持つ分散アルゴリズムの理論的な枠組みの一つに安全収束性を持つ自己安定アルゴリズムがある。自己安定アルゴリズムは、一時故障が何度起きたとしても、それを引き金として、ネットワーク全体の状況を有限時間内に自動的に正常な状況に回復してくれる仕組みを持つ分散アルゴリズムである。安全収束性を持つ自己安定システムは故障後の任意の状況から、その最低限の性質やサービスが提供できる状況までは可能な限りすばやく収束する。そして、その後はその性質を保ちながら最適な性質、サービスが提供できる状況に自動的に収束していく。

変化が頻繁に起こる動的ネットワークでは、通常の自己安定アルゴリズムではサービスを提供できぬまま収束しない場合がある。よって、安全収束性をもつ自己安定分散アルゴリズムが適している。

2. 研究の目的

本研究では、動的無線ネットワークにおいても十分に実用に耐える、故障耐性を持つ分散アルゴリズムの設計を目的とした。そのために、安全収束性を持つ自己安定分散アルゴリズムの設計を行った。



3. 研究の方法

通常の自己安定分散アルゴリズムでは収束するまでに故障やトポロジーの変化が起これば、そこから新たに計算を始めることになる。つまり、頻繁に起こる変化には対応し切れる保証がない。

そこで、故障が起こった後の任意の状況から短時間で解の質を問わない最低限のサービスが行える安全な状況に遷移させ、そこからは安全性（最低限のサービス）を崩さずに最適解（最適なサービスの行える状況）に収束させるという安全な収束をするアルゴリズムの設計を行った。対象とする問題として、最小連結支配集合問題を考えた。

更に、動的無線ネットワークのノードは、このような分散問題に費やす計算能力（電源、メモリ、など）に制限があることから、計算能力の小さいロボットモデルにおける基本的な問題の計算可能性についての考察も行った。

4. 研究成果

本研究では、以下の4つの成果を得ることができた。

(1) ユニットディスクグラフ上で最小連結支配集合問題について近似比6を保証する安全収束性を持つ自己安定分散近似アルゴリズムの設計をし、その正しさを証明した。このとき、まず同期システム上でのアルゴリズムを設計し、その後、非同期システムのためのアルゴリズムを設計した。今後は、最小連結支配集合問題に対して、一般のトポロジーのグラフにおいても近似比を保証できる、安全収束性を持つ自己安定分散近似アルゴリズムの設計を行う。

(2) 一般のグラフ上で最大葉生成木問題について近似比3を保証する自己安定分散近似アルゴリズムの設計をし、その正しさを証明した。この問題の最適解において葉を刈り取ると、最小連結支配集合であることが知られている。今後は、このアルゴリズムにおいても安全収束性を持たせることを考えていく。

(3) 動的無線ネットワークの一つであるセンサーネットワークにおいて、確率的なリンク故障を仮定した場合の自己安定アルゴリズムの考察と既存のルーティングアルゴリズムにおける故障の影響の考察のための実験を行った。

(4) 各ロボットがメモリを持たないロボットモデルにおける一点集合問題についての研究を進めており、これは計算や記憶能力の少ないセンサーネットワークにも応用可能であると考えられる。各ロボットは自身が存在する点におけるロボット台数だけは認知することができるとした場合のアルゴリズムを提案した。また、ロボットを平面上に配置す

の場合とグラフ上のノードに配置する場合とのそれぞれについてアルゴリズムを提案した。さらに、グラフ上のリンクが確率的に切断される場合についても考察を行った。条件を様々に変えた場合の計算可能性についての議論で未解決な場合が存在するので今後の課題としている。

(5) 分散システムにとって重要な問題の1つといえる相互排除問題の1種で、グループ相互排除問題がある。グループ相互排除問題はライブコンサートのマルチキャストなどの実用的なアプリケーションへの応用が考えられる問題である。そこで、コーラムシステムを用いたアルゴリズムの提案を行った。今後はこのアルゴリズムの自己安定化も考えている。

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)

Tomoko Izumi, Taisuke Izumi, Sayaka Kamei, and Fukuhito Ooshita, "Time-optimal Gathering Algorithm of Mobile Robots with Local Weak Multiplicity Detection in Rings", IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, E96-A 巻, 6 号, 1072-1080 頁, 2013 年, http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=e96-a_6_1072. 査読有

Taisuke Izumi, Tomoko Izumi, Sayaka Kamei, Fukuhito Ooshita, "Feasibility of Polynomial-time Randomized Gathering for Oblivious Mobile Robots", IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 24 巻, 4 号, 716-723 頁, 2013 年, <http://dx.doi.org/10.1109/TPDS.2012.212>. 査読有

Sayaka Kamei, Hirotosugu Kakugawa, Stephane Devismes, Sebastien Tixeuil, "A Self-Stabilizing 3-Approximation for the Maximum Leaf Spanning Tree Problem in Arbitrary Networks", Journal of Combinatorial Optimization, 25 巻, 3 号, 430-459 頁, 2013 年, <http://dx.doi.org/10.1007/s10878-011-9383-5>. 査読有

Sayaka Kamei and Hirotosugu Kakugawa, "A Self-Stabilizing 6-Approximation for the Minimum Connected Dominating Set with Safe Convergence in Unit Disk Graph", Theoretical Computer Science, 428 巻, 80-90 頁, 2012 年, <http://dx.doi.org/10.1016/j.tcs.2011.12.007>. 査読有

Hirotosugu Kakugawa, Yukiko Yamauchi, Sayaka Kamei, Toshimitsu Masuzawa, "Observations on non-silent self-stabilizing algorithms in sensor networks with probabilistically intermittent link failures", Theoretical Computer Science, 412 巻, 33 号, 4336-4349 頁, 2011 年, <http://dx.doi.org/10.1016/j.tcs.2010.11.013>. 査読有

[学会発表](計 8 件)

Sayaka Kamei, "An Asynchronous Self-Stabilizing Approximation for the Minimum Connected Dominating Set with Safe Convergence in Unit Disk Graphs", The 15th International Symposium on Stabilization, Safety, and Security of Distributed Systems (SSS2013), 2013 年 11 月 16 日, 大阪

Yukiko Yamauchi, "Mobile Agent Rendezvous on a Probabilistic Edge Evolving Ring", The Third International Conference on Networking and Computing (ICNC), 2012 年 12 月 6 日, 沖縄

Tomoko Izumi, "Brief Announcement: Mobile Agent Rendezvous on Edge Evolving Rings", The 14th International Symposium on Stabilization, Safety, and Security of Distributed Systems (SSS2012), 2012 年 10 月 3 日, カナダ・トロント.

Anissa Lamani, "Gathering an even number of robots in a symmetric ring without global multiplicity detection", The 37th International Symposium on Mathematical Foundations of Computer Science (MFCS), 2012 年 8 月 28 日, スロバキア・ブラチスラバ.

Sayaka Kamei, "Fast and Reliable Route Maintenance Protocols for Wsn with Crash and Intermittent Failures," The Second International Conference on Networking and Computing (ICNC 2011), 2011 年 12 月 1 日. 大阪

Anissa Lamani, "Asynchronous mobile robot gathering from symmetric configurations without global multiplicity detection", The 18th International Colloquium on Structural Information and Communication Complexity (SIROCCO 2011), 2011 年 6 月 27 日. ポーランド・グダンスク

Sayaka Kamei, "A Token-based Distributed Algorithm for the Generalized Resource Allocation Problem," The 14th International Conference on Principles of Distributed Systems (OPODIS 2010), 2010 年 12 月 15 日, チュニジア・トズール

Sayaka Kamei, "A Self-Stabilizing 3-Approximation for the Maximum Leaf Spanning Tree Problem in Arbitrary Networks", The 16th Annual International Computing and Combinatorics Conference (COCOON 2010), 2010年7月21日, ベトナム・ニャチャン.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

亀井 清華 (Sayaka Kamei)
広島大学・工学研究院・准教授
研究者番号：90434977

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：