

平成 22年 6月 10日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2007 ~ 2009
 課題番号：19700075
 研究課題名 (和文) MANETに適した故障耐性を持つ分散近似アルゴリズムに関する研究
 研究課題名 (英文) A Study of fault-tolerant distributed approximation algorithms for MANET
 研究代表者 亀井 清華 (KAMEI SAYAKA)
 広島大学・工学研究科・助教
 研究者番号：90434977

研究成果の概要 (和文) : MANET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. 最小連結支配集合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 MANET, 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.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,200,000	0	1,200,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	600,000	3,800,000

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, MANET, 分散近似アルゴリズム, safe convergence

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困難問題としてモデル化できるものが多く存在する. NP困難問題は多項式時間で解くことが難しい. そのため,

実用上は最適解ではなく, それに近い解を求めるためのアルゴリズムがさかんに研究されている. NP困難問題に対するアプローチの一つとして, 近似アルゴリズムの設計がある. アルゴリズムによる最悪の場合の解と最適解

との相対誤差を近似比と呼ぶ。この近似比を保証するアルゴリズムが近似アルゴリズムである。この近似比を保証する事を分散アルゴリズムとして実現した物を分散近似アルゴリズムと呼ぶ。

MANETにおいては、クラスタリングの構築や通信経路の計算が大きなテーマである。それらは最小連結支配集合にモデル化することができる。この最小連結支配集合問題もNP困難問題である。MANET上の各計算機が、そのMANET上の最小連結支配集合の近似解に属するか否かを、協調して求めるための分散アルゴリズムが必要となる。

一時故障やネットワーク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の理論的な枠組みの一つに自己安定分散アルゴリズムがある。自己安定分散アルゴリズムは、一時故障が起きたとしても、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で自動的に正常な状況（対象とする分散問題に対する解条件を満たす状況）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。一時故障直後の状況のような任意の状況から計算を始めて、いつかは必ず解状況に収束し、安定してくれるというものである。ネットワークトポロジーの変化が生じて、新たなトポロジーに対する解に、人の手間を解することなく、自動的に安定してくれる。つまり、この自己安定分散アルゴリズムでは、ネットワークの初期化の必要がない。変化が頻繁に起こるMANETでは、全体の状況を常に把握しておく事が難しい。よって、安定するまでの時間の短い自己安定分散アルゴリズムが適している。

これまで、分散近似アルゴリズムにおいて、故障などのネットワークの変化に対する耐性を持つものは存在しなかった。

2. 研究の目的

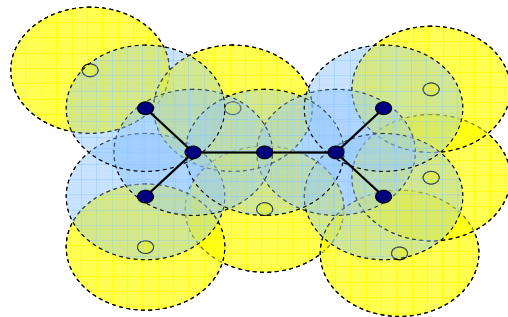
本研究では“MANETに適した”最小連結支配集合問題に対する分散近似アルゴリズムの構築を行う。これは、単に自己安定分散アルゴリズムの計算時間を短くするというだけではない。近似比や計算時間、メッセージ数などを総合的に評価したときに、MANETに最適なアルゴリズムという事を目指す。

3. 研究の方法

本研究では、MANETに適した特性として、「安全収束性を持つ自己安定性」に着目した。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ってしまうと、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、解の質を問わないが安全な状況（最低限のサービスが可能な状況）に一旦遷移させ、そこからは安全性を崩さずに最適な解（最適なサービスが可能な状況）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。

具体的には、最小連結支配集合問題を考える。下図は、MANETを表している。小さい円が各計算機を表し、その外周にある点線の円は各計算機の通信範囲を表している。黒い円が連結支配集合を表し、黄色い円は非支配集合を表している。各計算機は高々1 hopで連結支配集合に属する計算機に通信する事ができ、連結支配集合がMANETのバックボーンとなる。



この問題を考えた場合、任意の状況から最小連結支配集合に収束させるためには計算時間がかかってしまうが、一旦、最低限なサービスが可能な状況として（連結でない）支配集合に収束させる。それにより、連結なバックボーンを持たない状況においても支配集合に情報をシンクさせておくことにより、連結支配集合に収束し次第、通信を開始することができる。

また、故障による影響の広がりを小さく事を目的とした「故障封じ込め」という概念にも着目した。これは、通常の自己安定アルゴリズムでは解状況で故障が起こった場合、どんなに小さな範囲の故障であっても全プロセスを巻き込んで回復に向かうという遷移が考えられるが、故障封じ込めアルゴリズムでは解状況で故障が起きてから回復までに状態を変えるプロセスの数とステップ数を小さく制限するものである。

更に、MANET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弱連結支配集合問題について近似比5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, 更にこれに対して連結性を保証し, 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. また, これらの安全収束性を持たないアルゴリズムを設計し, 比較実験を行い, 安全収束性を持たせることで収束時間が早くなることが分かった. 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) 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.

(3) 故障封じ込めの性質を備えたアルゴリズムの設計は非常に難しいとされている. 通常の自己安定アルゴリズムの性質として, 複数のアルゴリズムを合成することが可能であり, この性質はアルゴリズムの設計に大いに役立っているのであるが, 故障封じ込めの性質をもつ自己安定アルゴリズムにその性質はそのまま利用できなかった. そこで, 故障封じ込めアルゴリズムの合成手法を提案した.

(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 gathering についての研究も進めており, 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. ロボットが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場合のアルゴリズムを提案した. 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. 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 4件)

①Yukiko Yamauchi, Sayaka Kamei, Fukuhito Ooshita, Yoshiaki Katayama, Hirotsugu Kakugawa, and Toshimitsu Masuzawa, "Timer-based composition of fault-containing self-stabilizing protocols", Information Sciences, 180 巻, 10号, 1802-1816 頁, 2010年. 査読有

②Sayaka Kamei and Hirotsugu Kakugawa, "A Self-stabilizing Distributed Approximation Algorithm for the Minimum Connected Dominating Set" International Journal of Foundation of Computer Science, (掲載決定). 査読有

③Yukiko Yamauchi, Sayaka Kamei, Fukuhito Ooshita, Yoshiaki Katayama, Hirotsugu Kakugawa, and Toshimitsu Masuzawa. "Hierarchical composition of self-stabilizing protocols preserving the fault-containment property", IEICE Transaction on Information and Systems, E92-D巻, 3号, 451-459 頁, 2009年. 査読有

④Hirotsugu Kakugawa, Sayaka Kamei and Toshimitsu Masuzawa "A Token-Based Distributed Group Mutual Exclusion Algorithm with Quorums", IEEE Transactions on Parallel & Distributed Systems, 19 巻, 9号, 1153 - 1166 頁, 2008年. 査読有

[学会発表] (計 7件)

①Sayaka Kamei, "Mobile Robots Gathering Algorithm with Local Weak Multiplicity in Rings", The 17th International Colloquium on Structural Information and Communication Complexity (SIROCCO2010), 2010年6月8日, トルコ・シリンジエ

②Taisuke Izumi, "Randomized gathering of mobile robots with local-multiplicity detection", The 11th International Symposium on Stabilization, Safety, and Security of Distributed Systems (SSS), 2009年11月3日, フランス・リヨン

③Hirotsugu Kakugawa, "Cached sensornet transformation of non-silent self-stabilizing algorithms with unreliable links", The 11th International Symposium on Stabilization, Safety, and Security of Distributed Systems, 2009年11月3日, フランス・リヨン

④Taisuke Izumi, "Probabilistic gathering of mobile robots with weak multiplicity-detection capabilities", The 2nd Annual Meeting of Asian Association for Algorithms and Computation (AAAC), 2009年4月11日, 中国 杭州市

⑤Sayaka Kamei, "A Self-Stabilizing Approximation for the Minimum Connected

Dominating Set with Safe Convergence”, The 12th International Conference on Principles of Distributed Systems (OPODIS), 2008年12月18日, エジプト・ルクソール

⑥Yukiko Yamauchi, “Timer-based Composition of Fault-containing Self-stabilizing Protocols”, The 2nd International Symposium on Intelligent Distributed Computing (IDC), 2008年9月18日, イタリア・カタニーア

⑦Sayaka Kamei, “A Self-stabilizing Approximation Algorithm for the Minimum Weakly Connected Dominating Set with Safe Convergence”, The 1st International Workshop on Reliability, Availability, and Security (WRAS), 2007年11月16日, フランス・パリ.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

亀井 清華 (KAMEI SAYAKA)

広島大学・工学研究科・助教

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：