

研究種目：基盤研究 (B)
研究期間：2007 年度 ～ 2010 年度
課題番号：19300017
研究課題名 (和文) 連続的不安定なネットワーク環境において安定動作する分散システムの実現に関する研究
研究課題名 (英文) Design methodology of stabilizing distributed systems in intermittently unstable network environments
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

研究代表者の専門分野：情報科学
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：分散システム, 分散アルゴリズム

1. 研究計画の概要

本研究では、計算機などの構成要素の故障、ネットワークトポロジの変化、外部からの攻撃などによる、ネットワーク環境の不断の外乱のために不安定で絶えず変動しているネットワークにおいて、安定動作する自己適応型分散システム設計の基盤となる理論・技術の確立を目指す。

従来の自己適応型分散システムの代表例として、予期せぬ外乱によってどのような状況に陥っても、自動的に正しい状況に復帰できる自己安定分散システムがある。しかし、自己安定分散システムが正しい状況に復帰するためには、新たな外乱が生じない十分に長い期間が存在することが必要であり、不安定で絶えず変動しているネットワーク環境には適用できない。そこで本研究では、断続的な外乱を取り扱えるように自己安定分散システム概念を拡張することにより、絶えず不安定なネットワークにおいて安定動作する自己適応型分散システム設計の基盤となる理論・技術の確立を目指す。

2. 研究の進捗状況

(1) 絶えず不安定なネットワーク環境で安定動作する分散システムの理論的研究の枠組みを整備するために、構成要素やトポロジが不断に変化するネットワークのモデル化を行った。例えば、不断の外乱を永久ビザンチン故障としてモデル化し、この故障に対する耐性を有する自己安定分散システムを定式化した。

(2) 外乱の生じた周辺のみで分散システムの動作が乱れることを許し、その他の部分に対して

は外乱の影響を遮断する (外乱の影響を空間的に封じ込める) ための手法を検討し、いくつかの成果を得た。例えば、分散システムのスケジューリングに利用される彩色問題に対して、外乱の影響の空間的封じ込めを実現する自己安定アルゴリズムを開発した。さらに、複数の自己安定アルゴリズムの、空間的故障封じ込めを保存する合成法を開発した。また、空間的封じ込めの不可能性についても検討し、このアプローチの限界を明らかにした。

(3) 外乱の影響の空間的封じ込めが不可能な問題や外乱パターンに対して、外乱の影響の空間的拡散を許すが、その影響を時間的に封じ込めるための手法について検討し、いくつかの成果を得た。具体的には、外乱の影響の時間的封じ込め概念を定式化し、全域木構成などのいくつかの問題に対し、時間的封じ込めを実現する自己安定アルゴリズムを開発した。

(4) 外乱の影響の空間・時間的封じ込めを組み合わせた概念を定式化し、適切な組み合わせを実現するための手法について検討した。

(5) 安定状態でもランダムネスによる「ゆらぎ」を許容することにより、外乱の影響を効果的に緩和するための手法について検討し、いくつかの成果を得た。特に、連続的不安定なネットワーク環境での自己安定性の新たな拡張として、緩自己安定性の定式化を行い、緩自己安定アルゴリズムを開発した。

本研究で開発した分散アルゴリズムについては、シミュレーション実験、および、センサー実機による実験により、実用性の実証も行っている。

3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している。

当初の計画では、「研究の進捗状況」で述べた5つの課題について、4年間で一定の成果をあげることを目指していた。これまでに、この5つの課題すべてについて成果をあげており、それらを19件の雑誌論文（いずれも査読有り）と36件の学会発表（内24件は査読有りの国際会議）で発表している。

さらに、これら5つの課題の成果として開発した自己安定アルゴリズムは、当初の目的を達するものであるが、断続的な外乱に適応するために不断のプロセス間通信を必要とし、ネットワークに対する高い負荷を生じる。そこで、これらの自己安定アルゴリズムの実用性を高めるために、当初計画の課題に加えて、断続的な外乱に適応でき、なおかつ、通信に関して効率的な自己安定分散システムを定式化し、いくつかの自己安定アルゴリズムを提案した。

上述のように、本研究は、当初計画に対して十分な成果をあげており、さらに、当初計画になかった研究課題にも取りかかり、一定の成果をあげている。

4. 今後の研究の推進方策

最終年度（2010年度）は、当初計画の5つの課題（特に、(4)、(5)の課題）に継続して取り組み、これまでに得た成果をさらに発展させる。また、2009年度から、当初計画以外の研究課題として、断続的な外乱に対する適応性と通信効率性を両立する手法の検討を開始しているが、最終年度は、この研究課題についても推進する。

5. 代表的な研究成果

（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19件）

1. Yukiko Yamauchi, Sayaka Kamei, Fukuhito Ooshita, Yoshiaki Katayama, Hirotsugu Kakugawa, Toshimitsu Masuzawa: “Timer-based composition of fault-containing self-stabilizing protocols,” *Information Sciences*, Vol.180, pp.1802-1816 (2010.5 掲載予定) 査読有.

2. Toshimitsu Masuzawa, Sebastien Tixeuil: “Quiescence of self-stabilizing gossiping among mobile agents in graphs,” *Theoretical Computer Science*, Vol.411, pp.1567-1582 (2010.3) 査読有.

3. Toshimitsu Masuzawa: “Self-stabilization in dynamic networks,” *IEICE Transactions on Information and Systems*, Vol.E92-D, pp.108-115 (2009.2) 査読有.

4. 西川元, 山内由紀子, 大下福仁, 角川裕次, 増澤利光: “モバイルアドホックネット

ワークにおける公平性の高い自己安定相互排除プロトコル,” *電子情報通信学会論文誌(A)*, Vol.J91-A, pp.279-284 (2008.2) 査読有.

5. Toshimitsu Masuzawa, Sebastien Tixeuil: “Stabilizing link-coloration of arbitrary networks with unbounded Byzantine faults,” *International Journal of Principles and Applications of Information Science and Technology*, Vol.1, pp.1-13 (2007.12) 査読有.

〔学会発表〕（計36件）

1. Toshimitsu Masuzawa, Sebastien Tixeuil: “Stabilizing locally maximizable tasks in unidirectional networks is hard,” the 30th International Conference on Distributed Computing Systems, Genoa, Italy (2010.6 発表予定).

2. Hirotsugu Kakugawa, Yukiko Yamauchi, Sayaka Kamei, Toshimitsu Masuzawa: “Cached sensornet transformation of non-silent self-stabilizing algorithms with unreliable links,” the 11th International Symposium on Stabilization, Safety, and Security of Distributed Systems, Lyon, France (2009.11.5).

3. Stephane Devismes, Toshimitsu Masuzawa, Sebastien Tixeuil: “Communication efficiency in self-stabilizing silent protocols,” the 29th International Conference on Distributed Computing Systems, Montreal, Canada (2009.6.24).

4. Hirotsugu Kakugawa, Toshimitsu Masuzawa: “Convergence time analysis of self-stabilizing algorithms in wireless sensor networks with unreliable links,” the 10th International Symposium on Stabilization, Safety, and Security of Distributed Systems, Detroit, USA (2008.11.22).

5. Shay Kutten, Toshimitsu Masuzawa: “Output stability versus time till output,” the 21st International Symposium on Distributed Computing, Lemesos, Cyprus (2007.9.26).