

Title	On the Analysis of Self-Stabilizing Algorithms Using Model Checking
Author(s)	Kimoto, Masahiro
Citation	大阪大学, 2011, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/27640">https://hdl.handle.net/11094/27640</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	木本雅博
博士の専攻分野の名称	博士(情報科学)
学位記番号	第 24651 号
学位授与年月日	平成 23 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 情報科学研究科情報システム工学専攻
学位論文名	On Analysis of Self-Stabilizing Algorithms Using Model Checking (モデル検査を用いた自己安定アルゴリズムの解析について)
論文審査委員	(主査) 教授 菊野 亨 (副査) 教授 尾上 孝雄 教授 増澤 利光 准教授 土屋 達弘

論文内容の要旨

自己安定システムは、収束性と閉包性という2つの性質を持っている。収束性は、システムが任意の状態から望ましい状態に到達可能であることを示す。閉包性は、システムが望ましい状態に到達すると、望ましい状態の集合内で遷移し続けることを示す。この性質から、自己安定システムは初期化の必要が無く、問題のある状態から自動的に復帰することができる。自己安定アルゴリズムは、システムを自己安定にするようなアルゴリズムである。多くの問題に対して自己安定アルゴリズムが提案されている。

自己安定アルゴリズムの時間計算量は、問題のある状態から望ましい状態に到達するまでに必要なステップ数の最大値である。問題のある状態にある、ということは機能不全な状態であるので、時間計算量の改善は重要な性能問題となっている。時間計算量を改善するために、与えられた自己安定アルゴリズムの時間計算量を計測できることも重要である。

この論文では、これらの問題に取り組む。成果は3つに分けられる。第1の成果は、Dijkstraの自己安定3状態相互排除アルゴリズムの時間計算量の新しい下限を示したことである。第2の成果は、HsuとHuangによる自己安定極大マッチングアルゴリズムの正確な時間計算量を示したことである。第3の成果は、時間計算量についてHsu-Huangのアルゴリズムに勝るアルゴリズムを提案したことである。

この一連の研究において、モデル検査を解析の道具として用いた。モデル検査は状態探索に基づく形式検証手法である。モデル検査は、サイズが小さい自己安定アルゴリズムの調査にのみ用いることができるが、その振る舞いと時間計算量を全て解析することができる。ここでは、よく用いられるモデル検査ツールのNuSMVが相互排除アルゴリズムおよび極大マッチングアルゴリズムの解析にどのように使われるかを説明する。

## 論文審査の結果の要旨

社会基盤システムを効率的に、かつ安定的に構築、運用するための基礎技術としていわゆる分散システムの理論が注目を集めている。中でも自己安定アルゴリズムへの期待が高まっている。自己安定アルゴリズムの場合、いかなる異常状況に陥っても、ある一時の時間が経過すると、必ず再び正常状態に復帰することを保証する仕組みが組み入れられているため、通常のアルゴリズムに比べその挙動の分析は非常に困難である。

本論文では自己安定アルゴリズムの時間計算量の分析（厳密には、異常状況から正常状態に復帰するまでの経過時間を計測すること）に関して、2つの本質的な貢献を行っている。

最初の貢献は、自己安定アルゴリズムの挙動の分析に、いわゆるモデル検査を利用するという、新しい解析手法の有用性を実証したことにある。具体的には、規模の小さい問題例にモデル検査ツールNuSMVを適用して、異常状況から正常状態に復帰するまでの遷移系列をきれいに列挙している。その遷移系列がもつ幾つかの特徴を抽出し、それに基づく場合分けを行うことで、時間計算量に関する一般的な性質を数学的帰納法で証明することに成功している。

2番目の貢献は、2種類の代表的な自己安定アルゴリズム (Dijkstraの3状態相互排除アルゴリズムとHsuとHuangの極大マッチングアルゴリズム) の時間計算量の新しい理論的結果を求めたことにある。具体的には相互排除アルゴリズムの新しい下限と、極大マッチングアルゴリズムの正確な時間計算量をそれぞれ与えている。さらに、HsuとHuangの極大マッチングアルゴリズムの改善についても検討し、モデル検査の適用結果に基づいて、マッチング候補の切り替え操作に改善を加えることによって、高速化を達成している。

よって、博士(情報科学)の学位論文として価値のあるものと認める。