



Title	高度な故障耐性を持つ自己安定分散プロトコルに関する研究
Author(s)	片山, 喜章
Citation	大阪大学, 2001, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3184519
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏 名 ^{かた}片 ^{やま}山 ^{よし}喜 ^{あき}章

博士の専攻分野の名称 博 士 (工 学)

学 位 記 番 号 第 1 6 3 8 6 号

学 位 授 与 年 月 日 平 成 13 年 3 月 23 日

学 位 授 与 の 要 件 学位規則第4条第2項該当

学 位 論 文 名 高度な故障耐性を持つ自己安定分散プロトコルに関する研究

論 文 審 査 委 員 (主査)
教 授 都 倉 信 樹(副査)
教 授 柏 原 敏 伸 教 授 萩 原 兼 一 教 授 増 澤 利 光

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、著者が大阪大学大学院在学中から現在に至るまでの間に行った研究のうち、自己安定プロトコルに関する研究をまとめたものである。

複数のプロセスが通信リンクで接続され、複数の利用者に対してサービスを並行に提供するシステムを分散システムという。分散システム上の複数のプロセスが、通信リンクを介して情報を交換しながら協調して問題を解くプロトコル（あるいはアルゴリズム）を、分散プロトコル（分散アルゴリズム）(distributed protocol (algorithm)) という。

本論文では、分散システムが任意の大域状況（ネットワーク状況）から分散プロトコルの実行を開始したとしても、やがて望ましい大域状況（解状況）に到達し、その後、解状況から逸脱することなく安定する性質を持った分散プロトコルである自己安定プロトコル (self-stabilizing protocol) について考察する。

分散システム上で自己安定プロトコルを長期に渡って運用する場合、分散システム中の多数のプロセスが同時に故障を起こすことは稀であり、故障によって解状況からかけ離れた状況ではなく、少し変化した（小変動）状況になることがほとんどであると考えられる。つまり、小変動状況からの復旧（再安定）に関して優れた性質を持つ自己安定プロトコルを設計開発することは、大変意義がある。

本論文では、自己安定プロトコル、および小変動状況からの復旧に関して優れた性質を持つ自己安定プロトコルとして、故障封じ込め (fault-containing) 自己安定プロトコル、強安定 (super-stabilizing) プロトコルについて考察している。

まず第2章で、Cデーモンの下で任意のサイズの均一な（識別子がない）リングの方向付けを行う決定性自己安定プロトコルを提案している。Dデーモン (Distributed Daemon) およびR/Wデーモン (Read/Write Daemon) のもとでは、偶数サイズの均一なリングの方向付け問題を解く決定性自己安定プロトコルが存在しないことが知られていた。本論文の結果はCデーモンとDデーモン（およびR/Wデーモン）で解ける問題のクラスに真に差があることをはじめて示したという意味でも興味深い。

第3章では、一方向リング上で相互排除問題を解く強安定プロトコルを提案している。本プロトコルでは、解状況から単一のプロセスが故障した状況（1故障状況）からの実行において、ある安全性を満たすことを保証した自己安定プロトコルである。本プロトコルで保証している安全性は、1故障状況から解状況に復旧する間の任意の状況にお

いて、特権を持つ非故障プロセスが高々一個であることである。本プロトコルは、巡回ラウンド数が $\lceil n/2 \rceil + 1$ である。本論文では、一方向リングで相互排除問題を解く強安定プロトコルの巡回ラウンド数の下界が $\lfloor n/2 \rfloor + 1$ であることも示している。このことから、本プロトコルの巡回ラウンド数は、偶数サイズのリングに対して最適であり、奇数サイズのリングでは、この下界値との差が1である。

第4章では、重み最小生成木(MST)を構成する故障封じ込め自己安定プロトコルを提案している。故障封じ込め自己安定プロトコルにおいて、その評価尺度となるのは、1故障状況から再安定するまでに状態遷移するプロセス数(変動プロセス数)とそれにかかる時間(再安定時間)である。本プロトコルの変動プロセス数が $\Delta^2 + 1$ (Δ はプロセスの次数の上界)、再安定時間が $O(1)$ であることを示している。

最後に第5章では、得られた結果と今後の課題について述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、申請者が大阪大学在学中から現在まで研究を進めてきた、高度な故障耐性を持つ自己安定分散プロトコルに関する研究成果をまとめたものである。

本論文は、分散システム上で利用者にサービスを提供するためのプロトコル(分散プロトコル)のうち、ネットワークの構成要素(プロセスやリンク)の一時故障に対して故障耐性を持つ自己安定プロトコルに関する研究(2章)と、通常の自己安定プロトコルより、小変動状況からの実行において、より優れた性質を持つ自己安定プロトコルである、強安定プロトコル(3章)および故障封じ込め自己安定プロトコル(4章)に関する研究から構成されている。

2章では、Cデーモンの下で任意サイズのリングネットワークの方向付けを行う決定性自己安定プロトコルを提案している。この結果は、自己安定プロトコルのスケジューラとして知られているCデーモンとDデーモンで、解ける問題のクラスに真に差があることを初めて明らかにしたもので価値ある結果である。

3章では、1故障状況を考慮したリング上での相互排除強安定プロトコルを提案している。このプロトコルは、解状況から単一のプロセスの故障によって生じる状況(1故障状況)から再び解状況に到達するまでの間、正常なプロセスで特権を持つプロセスは高々1つであることを保証している。通常の自己安定プロトコルでは、1故障状況から、やがて解状況に至ることを保証しているのみである。

その意味で、強安定プロトコルは通常の自己安定プロトコルより高度な故障耐性を持つといえる。本論文の結果は、既知の結果よりも、その効率(巡回ラウンド数)およびプロセス毎の空間複雑度を大きく改善しており、さらに、強安定相互排除問題における巡回ラウンド数の下界も証明している点で評価できる。

4章では、1故障状況を考慮した重み最小生成木を構成する故障封じ込め自己安定プロトコルを提案している。故障封じ込め自己安定プロトコルは、1故障状況から解状況に到達するまでの間、早く、かつ故障の影響を受けるプロセスを少なくすることを目的とする。これを実現すれば、分散システムの利用者に対して故障状況をほぼ隠蔽することが可能である。この結果は、放送や経路制御などのネットワークアプリケーションに有用な重み最小生成木を構成するプロトコルであり、かつ利用者に対して故障状況をほぼ隠蔽可能である点で評価できる。

以上、本論文は分散システム上での故障耐性プロトコルについて、3つの重要な問題について、すぐれた結果を与えており、博士(工学)の学位論文として価値があるものと認める。