

Title	Design and Evaluation of Coteries for Distributed Mutual Exclusion
Author(s)	土屋, 達弘
Citation	大阪大学, 1998, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3151129
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏 名	土 屋 達 弘
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 4 1 8 0 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 10 年 10 月 14 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	Design and Evaluation of Coteries for Distributed Mutual Exclusion (分散相互排除を実現するコテリーの設計と評価)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 菊 野 亨 (副査) 教 授 宮 原 秀 夫 教 授 柏 原 敏 伸

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、分散システムにおける同期に関する最も基本的かつ重要な問題である分散相互排除問題を解決するために用いられるコテリー (coterie) について、その設計手法、及び、評価手法に関する研究をまとめたものである。

まず、コテリーの設計に関しては、2つの評価尺度を取り上げ、それぞれの尺度に関して最適なコテリーを導出する方法を提案している。1番目の尺度は、相互排除の実現のために必要なメッセージの送受信にかかる最大通信遅延時間である。従来研究では、システムの形状がツリー又はリングの場合に限って最大通信遅延最小のコテリーを求める多項式時間アルゴリズムが示されていたが、一般の形状のシステムについてはそのようなアルゴリズムは知られていなかった。本論文で提案したアルゴリズムは、任意の形状のシステムに適用可能であり、 n をノードの総数とした場合に $O(n^4)$ の時間計算量で最適な (最大通信遅延時間が最小の) コテリーを求めることができる。

次に、ノード及びリンクが確率的に故障すると仮定した上で、コテリーの可用性を2番目の尺度として取り上げている。これまではシステムの形状がツリー又はリングであるといった例外的な場合を除いて、可用性を最大にするコテリーを求める方法は知られていなかった。本論文では、定式化の際に必要なパラメータの値を導出するアルゴリズムを新たに開発することで、従来提案されていた0-1整数計画法を用いた方法を任意の形状のシステムに適用できるように拡張を行っている。更に、提案するこの方法を用いて、幾つかのシステム例について可用性に関して最適な (可用性を最大にする) コテリーを実際に導出することに成功している。

更に、コテリーの評価に関して、グラフ理論に基づき可用性を評価する方法を提案している。可用性を分析的に評価する方法としては、これまでは状態数え上げ以外には知られていなかった。本論文では、分散相互排除機構が正常であることを保証するために必要となるノードとリンクの極小な集合を、MQST (Minimal Quorum Spanning Tree) という新しい概念で表現し、このMQSTを数え上げることで可用性を求める方法を提案している。最後に、提案法を用いることで従来法に比べて非常に高速にコテリーの評価が可能になることを実験によって示している。

論文審査の結果の要旨

分散システムにおける同期に関する最も基本的かつ重要な問題に、常に1つのシステム要素にだけ特権を与えるいわゆる分散相互排除の問題がある。通常、この問題を解決するためにコテリーと呼ばれるシステム要素の集合が利用されている。本論文では種々の特性を有するコテリーの新しい設計手法を提案すると共に、具体的にコテリーが1つ与えられたときのその特性の評価手法について考察している。本論文の成果を要約すると、以下の通りである。

(1) 相互排除の実現のために必要となるメッセージの送受信にかかる通信遅延時間に注目し、その値が最小となるコテリーを導出する方法を提案している。従来の研究では、システムの形状が特殊な場合についてだけ最大通信遅延時間を最小にするコテリーを求める方法が知られていた。本論文で提案しているアルゴリズムはグラフ上の最短路問題を解くアルゴリズムを応用することで、任意の形状のシステムに適用可能となっている。しかも、その時間計算量は多項式時間となっており、非常に高速である。

(2) 分散システム上で故障が発生しうる場合の相互排除について議論するため、信頼性に関する最も一般的な尺度である可用性に注目し、最適な可用性をもつコテリーの設計方法を提案している。これまではシステムの形状が木あるいは環状である例外的な場合についてのみ最適なコテリーを求めることができた。本論文では、0-1整数計画法を用いた従来解法を本質的に拡張し、一般の形状のシステムを対象に可用性が最大のコテリーを求める方法を提案している。

(3) 与えられたコテリーの可用性を分析的に評価する新しい方法を提案している。提案法ではグラフ理論に基づいた最小クォーラムを張る木(MQST)と呼ぶ新しいデータ構造を定義し、それを利用することで、従来法のように状態数え上げを行う必要がなく、極めて高速な評価が可能である。更に本論文では、典型的な幾つかの分散システムを利用した適用実験によって、提案する分析的評価法の有効性を示している。

以上のように、本論文は、コテリーの設計とその評価に関して重要な成果を示しており、情報科学、特に分散システムの設計と評価に関する理論分野に貢献するところが大きい。よって本論文を学位論文として価値あるものと認める。