



Title	A Study on Approaches for Stable Distributed Systems in Unstable Network Environments
Author(s)	首藤, 裕一
Citation	大阪大学, 2015, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/52014
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

論文内容の要旨

	氏 名 (首藤 裕一)
論文題名	A Study on Approaches for Stable Distributed Systems in Unstable Network Environments (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に 関する研究)
論文内容の要旨 インターネットやセンサネットワーク、アドホックネットワークなど、多数のノードおよびそれらを接続する通信リンクで構成される分散システムが普及している。分散システムは一般に多数のノードで構成されるため、各ノードにおける故障の発生や負荷の増大による性能劣化などにより、分散システムは機能面・性能面で不安定となりやすい。著者はこれまでに、そのような不安定なネットワーク環境においても分散システムの利用者が安定したサービスを享受できることを目指し、分散システムの正常性や性能を保証する研究を行ってきた。本論文では、故障耐性の保証、通信品質の保証、計算性能の保証の3つの視点で著者が得た研究成果を紹介する。 はじめに、分散システムに高い故障耐性を持たせる緩自己安定の概念を提案する。Dijkstraが提唱した自己安定アルゴリズムとは、分散システムが任意の状況から実行を開始してもやがて安全状況に収束し、その後永遠にシステムが所望の性質を満たすことを保証するアルゴリズムのことを指す。自己安定アルゴリズムは任意の一時故障（メモリの消失や書換えおよびトポロジの変更）から回復するという極めて優れた故障耐性を有するが、一方で、その要件の厳しさから一部の問題に対してはその問題を解く自己安定アルゴリズムが存在しないことが知られている。著者が提案する緩自己安定の概念は、自己安定の要件をその故障耐性をほぼ損なわない形で緩和し、その適用対象を広げるものである。緩自己安定の有用性を立証するため、著者は個体群プロトコルモデルにおいてリーダ選挙問題を解く緩自己安定アルゴリズムの存在を示す。具体的には、完全グラフ上でリーダ選挙問題を解く緩自己安定アルゴリズムを考案し、ノードの識別子および乱数を利用することで任意のグラフ上でリーダ選挙問題を解く緩自己安定アルゴリズムを提案する。 つぎに、セルラー通信（3G, LTE）や無線LAN通信（WiFi）など多様な通信方式でインターネットアクセスをユーザに提供するモバイルネットワークにおいて、利用者に現在地から目的地までの通信品質最良の経路を提示する問題に取り組む。利用者が移動する市街地をグラフで表現した上で、制限時間内に始点から終点に移動する経路のうち総通信可能量が最大となる経路を計算する問題を「最適寄り道経路問題」として定式化し、そのNP困難性を証明する。また、本問題を解く疑似多項式アルゴリズムを2つ提案し、それらの実行時間を漸近的評価およびシミュレーションによる評価で比較する。 さいごに、ネットワーク越しに仮想マシンを利用者に提供するクラウドシステムの計算性能の把握方式について検討する。クラウドの提供するVM性能は短期的なバラつきが大きく、中・長期的な性能変動も存在するため、VM性能の把握には高頻度かつ継続的な性能測定が必要である。このため、ユーザがクラウド事業者と契約してVM性能を測定する場合、ユーザのコスト負担が問題となる。一方、クラウド事業者が自身でVM性能を測定しこれを公開する場合、事業者が性能情報に水増し偽装を行う恐れがあり、性能情報の信憑性が問題となる。これらの問題を解決するために、VMの性能情報をクラウド事業者が公開し、公開情報の信憑性をユーザが抜き打ち測定により検証する方式を提案する。さらに、実際のクラウドシステムが提供する仮想マシンの性能を実測することで、本方式によって検出できる水増し偽装の規模を評価する。	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (首 藤 裕 一)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	増澤 利光
	副 査	教授	萩原 兼一
	副 査	教授	井上 克郎
	副 査	准教授	角川 裕次

論文審査の結果の要旨

大規模な計算機ネットワークでは、各ノードの故障や負荷増大による性能劣化により機能面および性能面で不安定となりやすい。したがって、ユーザに安定したサービスを提供するために、不安定なネットワーク環境下でも分散システムを安定動作させることが強く求められている。本論文では、故障耐性の保証、通信性能の保証、計算性能の保証の3つの観点で分散システムの安定化について取り組んでいる。

故障耐性の保証として、本論文では分散システムの故障耐性に関する新たな概念として「緩自己安定」を提案している。これは1974年にダイクストラが提唱した自己安定を緩和したものである。自己安定な分散システムとは、任意の状況から実行を開始してもやがて安全状況と呼ばれる状況に収束すること（収束性）、および一度安全状況に到達した後は所望の性質を満たし続けること（閉包性）の2つの要件を満たす分散システムのことを指し、不安定な環境で安定動作する分散システムを実現する概念として注目されている。本論文で導入する緩自己安定は、上記の閉包性の要件を緩和し、安全状況に収束後、十分に長い時間が経過した後はシステムが所望の性質から逸脱することを許容するものであり、この緩和により自己安定の適用性を拡大する。一定の頻度で故障やトポロジ変更が発生する分散システムにおいては、安全状況への収束後に所望の性質を満たし続けたとしても外的要因で所望の性質から逸脱することがあるため、実用上、この要件緩和は自己安定の故障耐性を損なわないといえる。さらに本論文では、モバイルセンサネットワークを表現する個体群プロトコルモデルにおいて、完全グラフ上および任意のグラフ上でリーダ選挙問題を解く緩自己安定アルゴリズムを提案している。個体群プロトコルモデルにおいて、完全グラフおよび任意のグラフのいずれについてもその上でリーダ選挙問題を解く自己安定アルゴリズムは実現不可能であることが知られており、本結果は緩自己安定の有用性の証左となる。

また、通信性能の保証として、市街地を移動するモバイルユーザに通信品質を考慮した移動経路を提示する問題に取り組んでいる。具体的には、制限時間内に始点から終点まで移動できる経路のうち、通信品質が最良となるものを見つけることを最適寄り道経路問題として定式化し、この問題がNP困難であることを示している。さらに、最適寄り道経路問題を解く疑似多項式時間アルゴリズムをふたつ提案し、それらの実行時間の漸近的解析および実験評価を行うことで、両プロトコルの実用性を示している。

最後に、計算性能の保証として、クラウドシステムが提供する仮想マシンの性能把握方式を提案している。具体的には、ユーザが仮想マシンの性能分布に関する信頼性の高い情報を低コストで取得する方式として、クラウド事業者が高頻度にベンチマークを実行して仮想マシン性能を公開し、ユーザが稀に抜き打ち検査を行うことで公開情報の正しさを検証する方式を提案している。商用クラウド上での実測にもとづく実験の結果、提案方式におけるユーザの抜き打ち検査は公開情報に加えられたわずかな偽装を見抜くことができ、測定コストと性能情報の信憑性を両立できることを示している。

これらの結果は、不安定なネットワーク環境における分散システムの安定化に大いに寄与するものである。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。