

氏名（本籍）	オクダ ナオキ 奥田 尚樹
学位の種類	博士（情報工学）
学位記番号	甲第153号
学位授与年月日	2024年3月22日
学位授与の要件	広島市立大学大学院学則第36条第2項及び広島市立大学学位規程第3条第2項の規定による
学位論文題目	数理モデルを用いた効果的なネットワーク資源配分の予測に関する研究
論文審査委員	主査 教授 高野 知佐 委員 特任教授 前田 香織 委員 准教授 市原 英行 委員 教授 弓削 哲史（防衛大学校）

論文内容の要旨

今やインターネットは、人々の暮らしや産業を支える社会インフラとなり、インターネット上の仮想基盤、クラウドを用いたサービス提供も不可欠なものとなっている。安全かつ安定したクラウドサービスを提供するための技術開発が進んでおり、クラウドを支える仮想化技術においても、セキュリティ対策、ネットワーク資源配分、障害復旧、サービス品質など多様な観点で研究開発が必要である。

特に、ネットワーク資源配分の予測では、実際にサービスを監視してデータの収集・分析、システムのモデル化を行いシミュレーションでの解析、モデル化を基にした近似解法での解析などが考えられる。しかしながら、どの方法を選択するかは、時間と精度のトレードオフとなる。

本稿では、安定なクラウドサービスを提供するために、サービス妨害対策とサービスの信頼性に焦点をあて、効果的なネットワーク資源配分の予測のための数理モデルを提案する。サービス妨害対策では、3章にて、DDoS 攻撃緩和のための数理モデルを提案する。DDoS 攻撃緩和策は、DDoS 攻撃を受けている間でもサービスを継続するため、攻撃外の正常通信のパケットの損失を防ぐことが目的である。加えて、これを実現するためには、通信帯域やパケットを蓄えるための容量などのネットワーク資源の適切な配分が必要となり、それを予測することも重要となる。本稿では、DDoS 攻撃を受けた場合でも、サービスを継続するために、拡散型フロー制御を用いる DDoS 攻撃緩和方式の数理モデルを提案する。この方式は、DDoS 攻撃元から攻撃対象までのルータ等をオーバーレイネットワークで構成し、ノードのバッファあふれまでの時間（緩和時間）を拡散型フロー制御により、延ばすものである。このとき攻撃トラヒックの転送レートの算出が必要となるが、本稿では既存の算出式を改良することにより、従来できていなかった各ノードのバッファ容量のばらつきがある実ネットワークに近い場合の緩和時間を延ばすことができることを示す。また、DDoS 攻撃の攻撃規模が増大した場合についても、攻撃規模に応じた適切なネットワーク資源の配分を行うことで、十分に緩和の効果を発揮できることを示す。

一方、サービスの信頼性に関しては、4章にて、マルチクラウドのサービス提供に必要なネットワーク資源量の推定のための数理モデルを提案する。マルチクラウドにおいて、オーケストレーションツールやコンテナ仮想化を用いたマイクロサービスベースのアプリケーションの開発やサービス提供が盛んになっている。このような環境で開発されたサービスの管理に関する課題の1つとして、ネットワーク資源を効率的に割り当て、管理するかという資源管理の複雑さがある。この課題を解決するために、マルチクラウドのモデル化を行い、マルチクラ

ウドの各クラウド等に必要となる資源量の推定を行う。具体的には、サービス提供に必要となるネットワーク資源に関して、オーケストレーションツールで運用されることを前提に、Podの故障、再生及び、増減を加味した予測を行う。また、これらの数理モデルを作成するにあたり、補給整備システムの稼働率解析に用いられている数理モデルを参考にした。そして、モンテカルロシミュレーションと近似解法の結果を比較することにより、解析の精度や時間を検証する。加えて、具体的なネットワークを想定し、近似解法の計算結果からそのネットワークに必要な資源予測・管理における有用性を検証する。

論文審査の結果の要旨

令和5年11月28日(火)10時40分から12時15分まで情報科学部棟別館5階509室にてオンラインとのハイブリッドで博士学位論文予備審査を行った。申請者が論文内容について説明を行い、その後、論文内容に関する質疑応答を行った。質疑に対して申請者は適切に回答した。

本論文では、ネットワーク資源の有効利用に対して次の2つの課題に取り組んでいる：
(1)DDoS攻撃のような突発的に発生するサイバー攻撃に対して、安定的なクラウドサービスの提供を継続するためのネットワーク資源(帯域)の動的制御を提案
(2)クラウドサービスの安定運用に必要なネットワーク資源の推定技術の提案。まず(1)の課題について、本論文の第二章にまとめており、拡散方程式による数理モデルをベースに自律分散的に動作するフロー制御(帯域制御)を提案した。DDoS攻撃元から攻撃対象までのルータをオーバーレイネットワークで構成し、ルータ間の帯域をネットワークの状況に応じて動的に変更することで各ノードのバッファ溢れまでの時間(緩和時間)を大きく伸ばすことが可能である。また、DDoS攻撃の攻撃規模が増大した場合でも、攻撃規模に応じた適切な帯域制御を行うことで、緩和の効果を維持できることを示した。(2)のマルチクラウドにおけるネットワーク資源推定技術について第四章でまとめている。マルチクラウドの管理運営において、仮想化計算機資源の効率的配置は重要な課題である。第四章ではこの課題を解決するために、マルチクラウドにおける仮想化サーバの稼働率を近似的に推定する方法を提案している。本方式は、第三章で示した補給整備システムの稼働率解析で利用した数理モデルを基本としており、数理モデルを構成する基本要素の整理、系内の各状態の対応付け、ネットワーク資源推定に係る数理モデルの見直しを行っている。評価の結果、提案する近似解法はネットワーク資源予測・管理において有用であることを示した。

予備審査では、章構成についての議論がなされた。第三章の内容は、サイバー空間におけるネットワーク資源管理運用技術との関連性が薄いため、第三章の内容を第四章に含める形で整理することとした。また、論文の理解性を向上させるために、論文全体に関わる関連技術をまとめた章を作ることとした。さらに、新規性、有効性、信頼性を明確に表現するように論文全体を見直すこととした。以上のような修正点はあるものの博士論文としては十分な内容であると判断された。本論文の主な成果は、電子情報通信学会論文誌に2件、情報処理学会論文誌に1件論文発表した他、査読付き国際会議1件を公表済みである。以上により、審査委員会は予備論文審査を合格とした。