

氏名(本籍)	張毅聰 (中国)		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	博乙第 2970 号		
学位授与年月日	令和 2 年 9 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	Study on Network Property Verification in Software Defined Networking (SDNにおけるネットワーク特性検証に関する研究)		
主査	筑波大学 教授	博士(工学)	亀山 啓輔
副査	筑波大学 教授	博士(工学)	張 勇兵
副査	筑波大学 教授	博士(工学)	國廣 昇
副査	筑波大学 准教授	博士(工学)	阿部 洋丈
副査	筑波大学 准教授	博士(情報科学)	木村 成伴

論 文 の 要 旨

審査対象論文は、SDN (Software Defined Networking)を用いたネットワークの特性に欠陥や脅威がないことを検証する問題に関して、3つの提案を行ったものである。

まず、本論文の第1章で、研究背景と、本論文での貢献、本論文の構成について説明している。第2章では、SDN (Software Defined Networking)について述べ、SDNのコントローラとスイッチ間のやり取りで用いられるOpenFlowについて説明している。さらに、本論文で利用するApache Sparkについても説明している。第3章では、本論文の関連研究として、既存のネットワーク検証方法とSDNネットワークのアプリケーションに対する攻撃方法について述べている。第4章では、本論文で対象とする問題であるループ経路とブラックホール、及びファイアウォールバイパスについて説明している。第5章では、トポロジと転送ルールからフォワーディンググラフを作成し、ファイアウォールバイパスを検出する方式について提案している。そして、性能評価を行い、他の方式より処理時間が短くなることを示している。第6章では、AP (Atomic Predicate)論理式を用いて、SDNデータプレーンの特性の検証(到達可能性の検証、ループ経路やファイアウォールバイパス、ブラックホールの存在の検証)を行う方式を提案し、その処理にApache Sparkを用いることを提案している。そして、性能評価を行い、他方式より処理時間が短くなることを示している。第7章では、前章の処理をより高速化するため、AP (Atomic Predicate)木を導入することを提案し、性能評価により、前章の提案方式よりも、処理時間が短くなることを示している。最後に、第8章において本論文をまとめている。

審 査 の 要 旨

【批評】

SDN (Software Defined Networking)は、これまで分散管理していたネットワーク機器を、コントローラにより集中的に管理できる柔軟なネットワークであるが、その運用は比較的最近始まったものであり、従来のネットワークではなかった問題が発生するといった懸念がある。例えば、本論文で取り扱っているファイアウォールバイパスは、SDN スイッチに登録されたルールの誤りにより、本来排除されるべきパケットがファイアウォールを迂回してしまう脅威であり、上述の問題に該当する。審査対象論文は、そのSDNを用いたネットワークに欠陥や脅威がないことを効率良く検証するための提案を3つ行ったものであり、今後、このような研究は重要になると考えられる。

本論文の第5章で提案している方式では、ネットワーク内の全フローを表す有向グラフであるフローディンググラフが、ネットワークトポロジとSDN スイッチに登録されている転送ルールから作成され、このグラフから、パケットの到達可能性が検出できること（フローパストラッキング）と、ネットワークでファイアウォールによるパケットの検出を必要とすることなく、フローディンググラフだけからファイアウォールバイパスの脅威が検出できること（アクティブディテクション）を両方兼ね備えていることが、他の方式にはない特徴であることが示されている。

第6章で提案している方式では、AP (Atomic Predicate)論理式を導入したことが特徴として挙げられる。異なるAP論理式は、同時に真とはならない。ファイアウォールなどによるパケット転送ルールを有限個のAP論理式の論理和で表現し、個々の論理式を事前に格納しておくことで、高速に計算することができる。また、これらの論理式は並列に計算できるので、Apache Sparkを用いることで、より高速に計算できるようにしたことが、提案方式の優れた点である。

第7章で提案している方式では、第6章の方式を更に高速化するために、AP (Atomic Predicate)木を導入している。AP論理式で表現したパケット転送ルールは、ネットワーク規模が大きくなるに連れて大量になることから、二分木を用いて、これらの論理式を集約し、Apache Sparkによってより高速に処理できるようにしたことが、提案方式の優れた着想である。

以上の提案方式は、計算機上に実装され、その性能が評価されていることから、工学的に貢献するところが極めて大きいと考えられる。今後は、これらの提案方式を実ネットワーク上に実装し、実際のネットワーク環境で運用することで、これらの方式の有効性を示すことが望まれる。

【学力の確認】

令和2年8月4日、システム情報工学研究科において論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め関連事項につき質疑応答を行った。その結果、国立大学法人筑波大学学位規程第2条第4項の「大学院の行なう博士論文の審査に合格し、かつ、大学院の博士課程を修了した者と同等以上の学力を有すること」を論文審査委員全員によって確認し、合格と判定された。

【結論】

上記の論文審査ならびに学力の確認結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。