

論文内容の要旨

博士論文題目

Enhancing End-System Capabilities on the Internet with a Large-Scale Observational Approach

(エンドシステムの自律動作を支援するインターネットの大規模観測に関する研究)

氏 名

益 井 賢 次

博士論文要旨

本博士論文は、インターネットにおけるネットワーク計測の新たなモデルであるアプリケーション指向のネットワーク計測について、その意義と実現に向けた技術的知見をまとめたものである。アプリケーション指向のネットワーク計測は、大規模peer-to-peerネットワークアプリケーションのように、インターネットのエンドシステム上で動作するアプリケーションがより多くのノードとネットワークにまたがり自律的に動作するようになる過程で必要とされるようになった。その目的は、インターネットの構成要素（ノードやリンクなど）の状態や性能・構造を示すネットワーク特性情報を、アプリケーションに対して迅速かつ正確に収集し提供することである。アプリケーションは自身のサービスの維持・拡大を目的として、提供された情報をもとに将来の動作を決定することになる。すなわち、アプリケーション指向のネットワーク計測は、エンドシステムの自律動作の判断材料を収集する重要な手続きである。

本論文ではまず、エンドシステムの間で自律性を持つネットワークアプリケーションが登場しつつある一方で、ネットワーク特性情報を提供する標準的な機構がインターネットに存在しないことがこのようなアプリケーションの展開の障害となっている点を問題として指摘する。これをふまえ、インターネットの大規模展開を実現する上で重要な設計思想であるend-to-end原則を守りつつネットワーク特性情報をエンドシステムに提供する手段として、大規模ネットワーク計測のネットワークサービス化というアプローチをとる。そして、サービスとして提供されるアプリケーション指向のネットワーク計測について、その機能要件をサービス応答性・提供データの正確性・計測範囲の網羅性などの面からまとめる。このような計測サービスを展開する基盤をアプリケーション指向のネットワーク計測基盤（application-oriented measurement platform, 以下AOMP）と呼ぶ。前述の機能要件を満たしうるAOMPの一設計として、計測ノードが協調動作するための計測ネットワークに階層型peer-to-peerネットワークを利用するシステムN-TAPの設計と実装を示す。N-TAPでは、計測ノード上で動作するエージェント群が計測ネットワークを構成し、互いに協調しながら計測に関わる処理を行う。エージェントには、計測ネットワークの維持処理を行うcoreエージェントとそれを行わないstubエージェントの2種類の役割がある。実ネットワーク環境におけるN-TAPの性能評価をもとに、これらの役割分割を計測ノードの性能に応じて行うことで、N-TAPが前述の機能要件を満たす実システムとなりうることを示す。また、AOMPのような大規模計測基盤上には、計測の効率化などの面から複数計測ノードが協調して動作するような協調計測手法が搭載されることが期待される。ここでは広域のIPトポロジ情報を高速に収集可能なDoubletreeという協調計測アルゴリズムに注目する。これを実際にN-TAPに搭載し動作させ、冗長probeの削減数などの指標をもとに評価することで、これまでにシミュレーションで確認されたDoubletreeの利点を実ネットワーク環境でも享受できることを確認し、協調計測手法のAOMPへの搭載の意義を述べる。最後に、実際のサービスとしてAOMPが展開していくための、ひいてはインターネットがエンドシステムにとってより自由で柔軟なプラットフォームとなるための指針と今後の課題についてまとめる。

(論文審査結果の要旨)

本博士論文は、インターネットにおける大規模ネットワーク計測サービスとその上で実現される協調計測の実環境での有効性を検証している。ネットワーク特性に応じて自身の動作を決定する自律的なネットワークアプリケーションが増えつつある一方、インターネット自体には明示的にネットワーク特性情報を提供する機構が備えられていない。これに起因する情報収集の困難さが、ネットワークアプリケーションの自律的処理を阻害する一因となっている。本論文では、大規模ネットワーク計測をインターネットの基盤サービスとし、その展開をもって情報収集の困難に関する問題の解決を目指している。

本論文の主たる成果は、以下の通りである。

- アプリケーションの自律動作に関する既存研究および自律性を持つ実際のアプリケーションを分析することで、それらが持つネットワーク特性情報の収集における応答性・収集範囲などの要求を明らかにした。それに基づき、現在のインターネットにおける標準的な通信手順や各エンドシステムが単独で行うネットワーク計測活動の中で収集できる情報の種類や網羅性などには限界があることを指摘し、前述の要求事項を満たすためにはネットワーク特性情報を大規模に収集・提供可能な機構が必要であることを示した。
- ネットワーク特性情報の収集・提供手段として、大規模ネットワーク計測のサービス化に焦点を当て、「アプリケーション指向のネットワーク計測基盤」としてそのシステムアーキテクチャを提案した。提案システムは計測ノードを広域に分散配置し、そのノード群がシステム上の共有記憶領域を用いて相互に連携することで、システム全体としてアプリケーション指向のネットワーク計測に必要な広域性や基盤サービスとしての安定性を確保している。提案システムを応答性や規模拡張性・安定性といった面で評価し、ノード間疎結合・分散配置型の設計に基づく計測システムがアプリケーション指向のネットワーク計測基盤の要求を満たしつつ動作することを示した。
- 机上検討あるいは計算機上でのシミュレーションによる検証が主であったトポロジ探索の協調計測手法を、構築したネットワーク計測システムに搭載し、実ネットワーク環境で動作させることで、これまでの研究で期待されていた冗長トポロジ探索数の削減が実環境でも発揮されることを確認した。さらに、提案計測システムの持つノード間の疎結合性という特性を活用することで、当該手法の探索冗長度削減をさらに促進できることを示し、協調計測手法がアプリケーション指向のネットワーク計測において有用であることを指摘した。

以上のように、本論文は大規模分散計測システムやその上で実現される協調計測手法の特性に関して、実展開をふまえた議論とともに学術的知見を与えた。加えて、このような目的を持った計測サービスの実用化に際しての問題点を提起し、今後の研究への方向性を示した。本論文はアプリケーション指向のネットワーク計測という新たなアプローチについて、学術面・実用面で十分な貢献を果たしたといえる。よって、本論文は博士(工学)の学位を授与するにふさわしい内容であることを認める。