

氏 名	北 辻 佳 憲
学 位 の 種 類	博 士 (情報工学)
学 位 記 番 号	情工博乙第49号
学位授与の日付	平成19年3月23日
学位授与の条件	学位規則第4条第2項該当
学 位 論 文 題 目	Studies on Network Traffic Engineering Exploiting Dynamic IP-Flow Characteristics (動的な IP フローの特性を利用したトラフィックエンジニアリング技術に関する研究)
論 文 審 査 委 員	主 査 教 授 鶴 正 人 ” 吉 田 隆 一 ” 尾 家 祐 二 助教授 川 原 憲 治

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

インターネットの発展に伴い、さまざまな分散アプリケーションが用いられるようになり、インターネットを横断するトラフィックの特性はそれらのアプリケーションに依存して多様化してきている。インターネットサービス事業者 (ISP) は、各々のアプリケーション (従来からのファイル転送に加え voice-over-IP [VoIP] や IP テレビなど) に対して高品質なサービスを効率的に提供するために、通信品質の向上と収容トラフィック拡大の2つの課題を同時に実現することが求められてきている。

通信品質の向上や収容トラフィックの量的拡大のためには、トラフィックの通り道 (パス) を制御して資源競合を緩和するトラフィックエンジニアリングが有効である。従来の方式では、パスの帯域に基づいてトラフィックを複数のパスへ振り分ける。このとき、バースト性が異なるトラフィックが同一パス上で混在しそのパスの利用率が高くなると、バースト性の低いトラフィックもバースト性の高いトラフィックの大きな遅延変動の影響を受けるといふ、本質的な問題がある。そこで、本学位論文では、トラフィックをその性質の違いが区別できるトラフィックフロー (フロー) に分別し、それらのフローのトラフィック特性を利用して通信品質の劣化 (遅延変動の増大) を抑制するトラフィックエンジニアリングについて論ずる。なお、本学位論文ではフローを5つ組 (送信元/宛先 IP アドレス、プロトコル番号、送信元/宛先ポート番号) で分別されるパケットの順序列に限定せず、一般にパケット単位に分別できるさまざまな粒度での同じ種類のパケットの順序列と定義する。

今後の ISP のネットワークは、集約された多量のトラフィックが横断するコア網と、その周囲にあってコア網に流入・から流出するトラフィックが通過するエッジ・ノードで構成されると考えられる。各エッジ・ノードはコア網に比べるとトラフィック量が少なく高度 (複雑) なトラフィック制御が可能であり、エッジ・ノードが主体となってトラフィックをコア網に分散するための複数のパスが各エッジ・ノード間に確立され、それらのパスはコア網内に適切に配置されると仮定できる。その状況で効果的なトラフィックエンジニアリングを実現するためには、エッジ・ノードに入力されるトラフィックの特性を計測する機能、およびエッジ・ノードにおいてトラフィック特性に基づいてフローを複数パスへ振り分ける機能が求められる。そこで、本学位論文では、これらの機能について論じ、方式を提案・開発し、その有効性を示している。

論文の構成は、まず第一章で、現在のインターネットにおける通信品質向上の重要性とそれを実現するトラフィックエンジニアリング技術の必要性を示す。

第二章では、学術系バックボーンネットワークの構築事例をもとに、多様なサービスを提供する高速なネットワークの構成、および遅延変動を緩和するトラフィック制御に不可欠な機能を示す。

第三章では、フローのトラフィック特性計測および品質監視に不可欠なトラフィック計測装置の開発について説明し、フローを同定する処理を分散して行うことで高速な回線 (10Gbit/s) を流れる多量なフローのリアルタイムな計測が可能なことを示す。

第四、五章では、第三章で開発したトラヒック特性計測ツールを用いて実トラヒックを解析し、同ツールの効果を示す。第四章では、TCP フローとして Grid で用いられる分散計算アプリケーションのトラヒックを解析し、複数のアプリケーションを同一ネットワーク上で実行する場合に、アプリケーションの組み合わせに応じて、各アプリケーショントラヒックを同一パスへ集約するか、それとも別々のパスに分離するか、を制御することで、全体の性能を向上できることを示す。第五章では UDP フローとして VoIP フローを解析し、VoIP フローの特徴をもとに軽負荷な同フローの抽出方法および品質劣化を検出する方法を示す。

第六章では、フローのトラヒック特性を利用するトラヒックエンジニアリング技術として、トラヒック特性が異なるフローを複数パスへ振り分ける方式について検討する。具体的には、2 種類の特性の異なるトラヒックを2つのパスへ振り分けるシンプルなケースについてヒューリスティックなフロー振り分け方式を提案し、提案方式で振り分けられたトラヒックのバッファ内キュー遅延（遅延変動）が低く抑えられることを示す。

以上の結果から、本論文では、トラヒックが高い利用率で収容されている高速なネットワークにおいて、通信品質の劣化を抑制するために、①スケーラブルなフロー単位のトラヒックの特性計測方式、②同装置を用いてトラヒック計測から得られるトラヒック特性を利用した、フローに着目したトラヒック制御、③トラヒック特性を考慮した汎用的なフロー振り分け方式の有効性を明らかにし、それにより、フローのトラヒック特性に着目したトラヒックエンジニアリングが通信品質の向上に有効であることを示す。

学 位 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

インターネットの発展に伴いさまざまな分散アプリケーションが用いられるようになってきており、それらのアプリケーションの多様化に伴ってインターネットを横断するトラヒックの特性も多様化してきている。バックボーンネットワークにおいて、通信品質を維持しながら収容トラヒックの量的拡大を図るためには、トラヒックの複数の通り道（パス）を制御して資源競合を緩和するトラヒックエンジニアリングが有効である。従来の方式ではトラヒックを複数のパスへ分散する際にパスの帯域に基づいて振り分けるが、バースト性が異なるトラヒックが同一パス上で混在しそのパスの利用率が高くなると、バースト性の低いトラヒックもバースト性の高いトラヒックの大きな遅延変動の影響を受けるといふ本質的な問題を持つ。本学位論文では、トラヒックを、その性質の違いが区別できるトラヒックフロー（フロー）に分別し、そのトラヒック特性を考慮したパスへの振り分けによって通信品質の劣化（遅延変動の増大）を抑制するトラヒックエンジニアリングについて論じている。

本学位論文では、今後の ISP のネットワークが、集約された多量のトラヒックが横断するコア網と、その周囲にあってコア網に流入・から流出するトラヒックが通過するエッジ・ノードで構成され、各エッジ・ノード間に複数のパスがコア網内に分散して経路付けされると仮定し、そのような状況で各エッジ・ノードに必要な、入力するトラヒックの特性を計測する機能、およびエッジ・ノードにおいてトラヒック特性に基づいてフローを複数パスへ振り分ける機能に関して論じ、以下のように方式の提案・実装・評価を通じて、フローのトラヒック特性に着目したトラヒックエンジニアリングが通信品質の向上に有効であることを示している。

第一に、フローのトラヒック特性計測および品質監視に不可欠なフロー計測システムの開発について説明し、フローを同定する処理を分散して行うことで高速な回線（10Gbit/s）を流れる多量なフローのリアルタイム計測が可能であることを示した。第二に、第一で開発したトラヒック特性計測ツールを用いて実トラヒックを解析して同ツールの効果を示した。具体例として、まず Grid アプリケーションの TCP フローについて解析して、複数の Grid アプリケーションを一つのネットワーク上で実行する場合に、アプリケーションの組み合わせによってトラヒックを同一パスへ集約するか別々のパスに分離するかを適切に判定することでアプリケーション全体の性能を向上できることを示し、次に VoIP の UDP フローについて解析して、VoIP フローの特徴をもとに軽負荷な VoIP フローの抽出方法および品質劣化を検出する方法を示した。第三に、フローのトラヒック特性を利用するトラヒックエンジニアリング技術として、2 種類の特性の異なるフローを2つのパスへ振り分けるケースについ

て、トラヒックのバッファ内キュー遅延（遅延変動）を低く抑えるようなフローの振り分け数を、近似的に求める方式を提案した。

以上の結果は、トラヒックが高い利用率で収容されている高速大容量ネットワークにおいて、通信品質の劣化を抑制するためにエッジ・ルータにおいて実装することを想定した、(1) スケーラブルなフロー単位のトラヒックの特性計測方式、(2) 計測装置によって得られるトラヒック特性を利用した、フロー単位のトラヒック制御、(3) トラヒック特性を考慮した実用的なフロー振り分け方式、の有効性を明らかにしており、通信の品質を効果的に向上するためのトラヒックエンジニアリング技術に関して多大な貢献をするものである。

本学位論文に関し、調査委員から、計測装置におけるパケット分散機構とパケット解析機構の役割分担、NGN（Next Generation Network）や世界で検討されつつある新しい通信機構への研究成果の適用、トラヒック特性を用いたトラヒックエンジニアリングの実サービスへの適用などについて質問がなされたが、いずれも著者から満足（明確）な回答が得られた。さらに、口頭により著者に試問を行った結果、情報ネットワーク工学、システム性能評価技術などに関する十分な学力を有し、独立した研究者として研究活動を行う能力を有することが認められた。英語で記述されている本学位論文や複数の学術論文の執筆、および国際会議における発表の経験から、十分な外国語の学力を有するものと判定した。平成 19 年 1 月 23 日（火）に調査委員全員の出席のもとで開かれた公聴会では、多数の出席者があり、本論文の内容を中心に種々の技術的な質問がなされたが、いずれも著者の説明によって質問者の理解が得られた。

以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士（情報工学）の学位に十分値するものであると判断した。