

氏 名	ふるやひろき 古 屋 裕 規
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3899 号
学位授与の日付	平 成 18 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	Timescale Properties of Aggregated IP Traffic and Their Application to Network Dimensioning (多重化 IP トラフィックの時間スケール特性とそのネットワーク容量設計への 応用)
論文調査委員	(主 査) 教 授 松 本 紘 教 授 橋 本 弘 藏 教 授 中 村 裕 一

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、音質・画質など、ユーザが要求する品質を提供可能とする IP ネットワーク容量設計手法の確立に向けた研究成果を取り纏めたものである。ユーザが要求する品質から、IP ネットワーク上の品質 (IP 品質) へのマッピング手法と、同 IP 品質を提供可能な IP ネットワークの容量設計手法、すなわち、IP ネットワーク上の多重化された情報流 (多重化 IP トラフィック) の特性解析・モデル化手法に関する研究成果をまとめている。検討にあたっては、対象となる通信システムの性能評価に最も特徴的な時間スケール (最関連時間スケール) の概念を踏まえ、時間スケールを勘案したアプローチを展開している。本論文は 7 章構成である。

第 1 章は序論であり、電話網から IP ネットワークへと発展しつつある現状を踏まえ、ユーザが要求する品質を考慮した IP ネットワーク容量設計の重要性を述べている。また、同設計手順を概観し、その実現に向け、(1)多重化 IP トラフィックの特性解析 (2)同特性を反映した IP トラフィックのモデル化 (3)ユーザが要求する品質と IP 品質とのマッピング の 3 点が重要課題であることを指摘している。また、(1)(2)においては、対象システムの最関連時間スケールの概念を踏まえ、時間スケールを考慮したアプローチが重要であることに言及している。更に、課題毎に関連技術の経緯を整理した上で、本論文の研究指針を提示し、研究の目的および位置づけを明確にしている。

第 2 章は、計 90 台の端末から構成されるテストベッドを用いて、IP ネットワーク上での主要通信プロトコルである TCP の挙動が、多重化 IP トラフィックの特性に与える影響を調査している。多重化 IP トラフィックの特性として広く認知されている自己相似性は、ネットワークの RTT (Round Trip Time) より小さい時間スケールで崩れることを明らかにしている。また、その原因は、TCP の制御機構によって、各 TCP コネクションが RTT 以下の時間スケールでバースト的なパケット群に分割されることであると考察している。

第 3 章は、第 2 章での知見に基づいて、多重化 TCP/IP トラフィックを簡易に再現する方法を提案している。分散・時間解析および単一サーバ待ち行列システムにおけるパケット損失率の評価により、提案モデルによるモデル化トラフィックが、実トラフィックの特性を良好に捉え得ることを実証している。更に、提案モデルは、TCP/IP の挙動を忠実にシミュレーションする場合に比して、計算コストを 100 倍以下に効率化できることを示している。

第 4 章は、より時間スケールの小さい領域に着目した上で、「局所ポアソン性」の概念を提唱し、多重化 IP トラフィックの特性解析から、モデル化、容量設計手法に至る研究成果を展開している。局所ポアソン性とは、パケットの到着過程の特性が、ある時間スケール未満ではポアソン過程に帰着される特性である。本章では、局所ポアソン性を持つ IP トラフィックを数学的にモデル化し、同モデルを用いた単一サーバ待ち行列システムにおけるパケット損失率の理論評価を行っている。これにより、ポアソンモデルに基づく IP ネットワーク容量設計 (ポアソン近似) の可能性を、その適用領域と共に明らかにしている。

第 5 章は、国内および国際インターネット基幹回線で測定した多重化 IP トラフィックデータを用いて、第 4 章で提唱した局所ポアソン性の検証を行っている。分散・時間解析および単一サーバ待ち行列システムでのパケット損失率評価により、

ポアソンモデルによる IP ネットワーク容量設計の可能性を実証している。

第6章は、ユーザが要求する品質と要求 IP 品質とのマッピング手法を検討している。IP 電話を例にとり、ユーザが要求する品質すなわち音声品質と、パケット損失率・ジッタ値、回線使用率などの IP 品質とのマッピングを行っている。テストベッドにおける実験データの解析により、PESQ 値で判定される客観的音質指標が、パケットジッタ標準偏差により統計的に把握できることを示している。これにより、ユーザが要求する品質を、IP 品質により把握・管理する可能性を実証している。

第7章は結論で、本論文の成果を総括し、ユーザが要求する品質を考慮した IP ネットワーク容量設計の方法論を展開している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、音質・画質など、ユーザが要求する品質を提供可能とする IP ネットワークの容量設計手法の確立を目指したものである。IP ネットワーク上の要求品質（IP 品質）を提供可能とするための IP トラフィック特性解析・モデル化手法、並びにユーザが要求する品質と IP 品質とのマッピング手法に関する研究成果をまとめている。得られた主な成果は次の通りである。

1. TCP/IP により伝送される多重化 IP トラフィックの自己相似性が、ネットワークの RTT (Round Trip Time) より小さい時間スケールで崩れることを実験的に明らかにした。更に、その原因は、各 TCP コネクションに属するパケット群が、TCP によりバースト的に分割されることにあると見出した。
2. 前項で把握した TCP の挙動を踏まえたトラフィックモデルを考案した。同モデルの適用により、シミュレーションベースの容量設計に必要な計算コストを1/100以下にした。
3. 時間スケールの更に小さい領域の多重化 IP トラフィック特性について、「局所ポアソン性」の概念を初めて提唱した。また、同特性を持つトラフィックを数学的にモデル化し、解析的な容量設計手法（ポアソン近似）を、その適用領域と共に理論展開した。
4. インターネット基幹網を流れる実トラフィックデータを解析し、ポアソン近似によるネットワーク容量設計の可能性を実証した。
5. IP 電話の音声品質を例として、ユーザが要求する品質と IP 品質とのマッピング方法を示した。音声品質は、IP 品質としてのジッタ標準偏差により把握し得ること、またその関係がネットワーク構成に対して普遍性を持つことを実験的に明らかにした。

以上の様に、本論文は、IP トラフィック特性解析・モデル化手法、並びにユーザが要求する品質と IP 品質とのマッピング手法に関する研究を行うことで、IP ネットワークの容量設計手法確立への指針を示したものであり、得られた成果は学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成18年2月17日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。