別紙 1

論文の内容の要旨

論文題目	パッシブ推定を用いた通信品質向上に関する研究
学位申請者	星原　隼人

近年，インターネットにおける通信量増大に伴い，通信品質保証(Quality of Service: QoS)はより重要性を増してきている．一般的に，通信品質保証技術は「ネットワークの状態把握」と「ネットワーク制御」によって構成されている．これまでのQoS技術では，ネットワークの状態把握のために，容易に得られるスループットなどの統計量を用いてきた．しかしながら，ネットワーク統計量の推定技術の進化により，これまで使用できなかった新たな統計量をQoSに利用できる可能性が出ている．推定技術はアクティブ推定とパッシブ推定に大別される．アクティブ推定は観測用のパケットをネットワークに投入し，パッシブ推定は観測のみで推定を行う．このため，輻輳などの影響を考慮すると，QoSで利用するにはパッシブ推定が適する．そこで本研究では，パッシブ推定で得られる統計量を通信品質保証技術で使用することを目指す．

本研究ではラウンドトリップ時間（Round Trip Time: RTT）のパッシブ推定を試みる．考慮すべきパッシブRTT推定の問題点として，精度を向上させるとリアルタイム性が低下する点が挙げられる．トラヒックデータから分析を行うパッシブ推定では，分析するデータ量が多いほど精度も向上するが，データ蓄積に長い時間経過を要する．提案手法では既存手法を簡略化し，リアルタイム

性を向上させる．推定によって得られたRTT値について，NS-2シミュレータと実ネットワーク上で実験を行い，提案方式が高い精度でRTTを推定可能なことを示す．

さらに，QoSへの導入例として，提案RTT推定法をルータの輻輳制御技術であるアクティブキュー管理（Active Queue Management: AQM）に導入し，TCPの輻輳制御を明示的にアルゴリズムに組み込んだAQMを提案する．さらに，提案AQMがキュー安定性，スループット安定性，トラヒックの変化に対するロバスト性に優れていることを示す．提案AQMについてNS-2上で既存AQMと比較し，提案AQM採用時の平均スループット値が高く，再送量が少ないことを示す．以上から，パッシブ推定で得たRTTがAQMの輻輳制御に効果的に働くことを示す．

別紙２

論文審査の結果の要旨

学位申請者氏名　　星原　隼人

審査委員主査　　古賀　久志

委員　　渡辺　俊典

委員　　大森　匡

委員　　本多　弘樹

委員　　笠井　裕之

本論文ではネットワーク統計量推定技術の進歩に着目し、従来使用されて来なかったネットワーク統計量を利用して、ネットワークの通信品質保証(Quality of Service, QoS)技術の精度を向上させる手法を提案している。具体的にはルータでTCPコネクションのRound Trip Time(RTT)を推定し、得られたRTT値をルータにおける輻輳制御技術であるActive Queue Management(AQM)に適用した。

本論文は以下の内容から構成されている。

第１章では、本研究の動機を述べている。まず、QoS技術が「ネットワークの状態把握」と「トラフィック制御」から構成されることを述べ、現在のQoS技術ではネットワークの状態把握をスループットのようにルータで簡単に計測できる統計量だけで行っていることを指摘している。その上で、統計量推定技術の進歩が目覚ましいことを例を挙げて説明し、新しいネットワーク統計量をQoS技術に使用することで精度向上ができる可能性があることを述べている。最後に本研究のアプローチの概要を示している。

第２章では、本論文を理解する準備として、TCPプロトコルのフロー制御および輻輳制御の仕組みとQoSの基本概念を解説している。

第３章では、TCPコネクションのRTTをルータ制御に適用できるようリアルタイムに推定する手法を提案している。
RTTを推定する従来技術の１つにTCPのセルフクロッキング特性を利用するものがある。この方法は適用条件が緩く、また観測用パケットを使用しないパッシブ推定法であり、それらの点はルータの輻輳制御に適する。しかしながら、バーストトラフィックの自己相関性からRTTを推定するため計算量が大きいという欠点があった。提案手法は自己相関性の判定を簡略化し、リアルタイム性を確保するものである。提案手法を実ネットワークでのトラフィックに適用した結果、簡略化によるRTT推定精度の劣化がないことが示されている。

ルータでは一般に複数のコネクションからのトラフィックが混在する。この状況で、個々のコネクションに対するRTTを記憶していてはコネクション数の増加に

対応できない。そこで、本論文では複数のコネクションのRTT代表値を求める方法も考案している。具体的には、ランダムにパケットを取得し、パケットが属するコネクションに対してRTT推定を繰り返して平均値を求める。ランダムにパケットを取得することで、輻輳への影響が大きい高スループットのコネクションのRTTを測定する回数が増え、そのようなコネクションを重視したRTT代表値が取得できる。

第４章では第３章で述べたRTT推定値を利用したAQMが提案されている。本AQMでは、輻輳制御の効果がRTT時間経過後に現れることを考慮しつつ、キュー長を目標値に維持するような制御を行う。まず、現在の入力レートからRTT時間後のキュー長を予測し、RTT時間後のキュー長と目標キュー長の差から2RTT時間後に目標キュー長に戻すために入力レートがいくらであればよいか（つまり、目標入力レート）を計算する。そして目標入力レートから各コネクションへの輻輳通知確率を算出する。

TCPコネクションのRTTが得られていることから、輻輳通知確率をTCPの輻輳制御により即して計算できる点が本AQMの特徴である。その効果は、ネットワークシミュレータns-2によるシミュレーションによって、さまざまな環境で既存AQMよりもキュー長を安定させ、トラフィック変動に対してロバストに低パケットロス、高グッドプットを達成できることで示されている。また、RTT推定精度や目標キュー長の設定値がAQMの性能に与える影響も考察されている。

最後に第５章では、本論文のまとめと今後の課題を示している。

以上のように本論文では、リアルタイム性の面で問題があった既存RTT推定法を軽量化してルータの輻輳制御に適用できるようにし、実際にRTT推定値を利用した新しいAQMを提案するに至っている。提案されたAQMは既存AQMに較べて、キュー長を一定に保つ能力に優れ、その結果、トラフィック変動があってもパケットロスを起こしにくい。RTT推定技術の研究分野ではその応用先としてAQMがあることが文献レベルでは指摘されていたが、提案手法は実際にRTT推定値を組み込んだ初めてのフローステートレスなAQMであり、ネットワーク統計量推定の研究分野に対する寄与も認められる。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値を有するものと認める。