

(続紙 1)

京都大学	博士（情報学）	氏名	横田 健治
論文題目	通信品質向上のためのネットワークシステム制御技術		
(論文内容の要旨)			
近年の無線通信の発達やFTTHに代表されるブロードバンドアクセスの普及は、通信ネットワークの絶え間ない大容量化をもたらしている。また、スマートフォンなどの新しい端末や、インターネットテレビ、IP電話などの新たなサービスが、ネットワークに流れるトラフィックを多様なものに変えている。さらに、ソフトウェアベンダーによる統合的なアプリケーションの提供により、古典的なN対Nの通信形態から、巨大サーバとその利用者群との通信といった通信形態への移行が進んでいる。本論文は、物理ネットワーク、オーバーレイネットワーク、サーバネットワークを対象として、ネットワークシステムの制御技術によりEnd-to-Endの通信品質を向上させる各種の要素技術を研究し、得られた研究成果をとりまとめたものであり、8章から構成されている。 第1章は序論であり、論文全体の背景、目的、およびその構成について述べている。 第2章と第3章はネットワークを流れるフロー毎の性質の違いに起因した通信品質上の課題を扱っている。第2章は、いわゆるエレファントフロー・マイスフロー問題を取り上げている。情報量の大きなエレファントフローにより、情報量の小さなマイスフローが圧迫を受けスループットが低下する。ルータにおいてフロー毎の情報転送量を計測し、転送量の小さなフローの情報を優先することによりマイスフローの品質を改善する。その際の課題は、ルータの処理負荷の増大であり、パケットサンプリングにより計測対象を削減するとともに、フロー単位ではなくユーザ単位に計測することにより処理負荷を軽減する手法を提案している。適切なサンプリングレートの選定により、処理負荷を軽減しつつ、マイスフローのスループットや転送遅延を改善できること、ならびにBitTorrentのようにファイルを分割して複数のピアからファイルを転送するエレファントフローに対しても有効であることをシミュレーションにより明らかにしている。 第3章はVoIPのように低ビットレートであるものの保留時間が長いために総情報量の大きなフローの品質保証法を検討している。指数移動平均を用いたビットレート計測により、マイスフローの品質改善とともに、VoIPフローの平均遅延と遅延ばらつきを一定値以下に保証できることを示し、制御パラメータの性能への影響を評価している。 第4章は広域同期型光タイムスロット交換網を対象としている。波長クロスコネクト技術は、大容量ルータ間に波長単位で複数のパスを設定でき、近い将来の実用化が期			

待されている．しかしながら，設定できるパス数の制約や，パス容量の粒度が粗いことが課題となっている．空間的に離れた位置にある複数のノード間で高精度な時刻同期が確立できることを利用して，適切な送受信やスイッチングのスケジューリングを行うことにより，ひとつの波長を時分割的に使用して，細粒度で多数のパスを設定することが可能となる．広域同期型光タイムスロット交換網の主要技術課題のひとつにタイムスロット割り当て問題がある．複数経路から光ケーブルが集まる光スイッチにおいて，タイムスロット位相が非同期の環境下でタイムスロット割り当て手法を検討し，位相同期のものと比べ遜色のない効率的な割り当てアルゴリズムを導いている．

第5章は，Webサーバへのアクセスが急増することでダウンロード時間が増加する，フラッシュクラウド問題を解決するための，サーバ負荷分散手法を提案している．サーバにリダイレクト機能を導入し，アクセスが閾値を超えると，他のクライアントにコンテンツのアップロードの一部を分担させることで，Webサーバへのアクセスを緩和する．シミュレーションによる性能評価とあわせて，提案手法のアプリケーションを実装し，実験によりダウンロード時間を削減でき，通信品質向上に有用であることを確認している．

第6章は，クラウドサービスを対象としている．利用者とデータセンタが物理的に遠い位置に配置され，遅延時間が増加することで通信品質が低下する問題を解決するために，位置情報を考慮したサーバの割り当て手法を提案している．また，クラウド事業者の他にサーバ保持者という概念を導入し，インセンティブを与えることでサーバの分散配置を促進できることを示している．

第7章は，P2Pファイル共有アプリケーションを対象としている．人気順位の低いコンテンツの検索成功率が低下しやすいという問題を解決するために，コンテンツとピアのクラスタリング手法を提案している．コンテンツとピアを単純な方法でクラスタリングすることでコンテンツ保持の分業が達成され，人気順位の低いコンテンツが各ピアのキャッシュに残りやすくなる．一方で高人気コンテンツの検索成功率を保持するための手法をあわせて提案し，計算機シミュレーションにより，コンテンツの検索成功率が向上することを示している．

第8章は結論であり，本論文の成果を要約し，今後の課題を述べている．

(論文審査の結果の要旨)

高速・大容量化と多様化が進む情報通信ネットワークにおいて、End-to-Endの通信品質は重要な技術課題であり続けている。本論文は、物理ネットワーク・オーバーレイネットワーク・サーバネットワークを対象として、ネットワークシステムの制御技術によりEnd-to-Endの通信品質向上を図る各種の要素技術を提案した研究を取りまとめたものであり、得られた主要な研究成果は以下のとおりである。

- (1) フローサイズの相違に起因する品質問題については、フロー単位の情報量計測を出発点とし、サンプリング計測によるルータの制御負荷の軽減、ユーザ単位の情報量計測によるファイルを分割して複数ピアから情報転送を受けるエレファントフローへの対応、さらにはビットレート計測によるVoIPなどの低ビットレートで情報量の大きなフローの品質向上を実現している。現在のサービス動向と整合した機能を、比較的容易に実装可能な方法で実現した。
- (2) 広域同期型光タイムスロット交換網において、タイムスロット位相非同期の環境下で高効率なタイムスロット割り当て手法を明らかにした。ケーブル長の調整が不要となり、広域同期型光タイムスロット交換網の実現性を大きく向上させるものである。
- (3) フラッシュクラウド問題には、P2P技術を用いた解決策を提案した。WEBアクセスプロトコルで規定されているメッセージを用いてリダイレクションを実現するなど実用性が高い。またプログラムを自作し実験を行っており、技術完成度も高い。
- (4) クラウドサービスにおけるサーバ事業者の概念の導入は、転送遅延の短縮によるスループットの向上とユーザ満足度の向上のほか、新たなビジネスモデルにつながる可能性や、クラウドサービスへの参入障壁を下げる効果も期待される。
- (5) P2Pファイル共有ネットワークにおけるクラスタリングは極めて単純な原理で、セマンティックP2Pなどの他の手法で必要なコンテンツ分類などの管理が不要になるため、実現性が高い手法と考えられる。

以上要するに本論文は、技術革新と変貌を続ける情報通信ネットワークにおいて、物理ネットワーク・オーバーレイネットワーク・サーバネットワークを対象として各種の要素技術を検討し、End-to-Endの通信品質向上に有用ないくつかの知見を与えたものであり、本分野の発展に関し、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（情報学）の学位論文として価値のあるものと認める。

また、平成24年2月20日に実施した論文内容とそれに関連した口頭試問の結果合格と認めた。