

機関番号： 24402
 研究種目： 若手研究（A）
 研究期間： 2007～2010
 課題番号： 19680004
 研究課題名（和文）
 パラダイムシフトを促進させる戦略的ネットワーク制御のための基盤技術の研究開発
 研究課題名（英文）
 Research and Development on Fundamental Technologies of Strategic Network Controls for Promoting Paradigm Shift of Network Protocols
 研究代表者
 阿多 信吾（ATA SHINGO）
 大阪市立大学・大学院工学研究科・准教授
 研究者番号： 30326251

研究成果の概要（和文）： 本研究では、ネットワークにおけるスムーズなパラダイムシフトを実現するために、「戦略的ネットワーク制御（Strategic Network Control）」を新たに提唱し、その実現のための基盤技術に関する研究開発を行う。パラダイムシフトとは、従来のネットワーク特性を大きく変化させる新しいネットワークパラダイムの登場と、そのパラダイムへの移行を指す。本研究ではこれらを実現するための4つの基本的な技術課題について取り組んだ。この成果はネットワーク制御とユーザの経験との関係にもとづき制御方策を決定できるなど、将来ネットワークへのパラダイムシフトに大きく資するものである。

研究成果の概要（英文）： In this research, a new concept of network control scheme called “Strategic Network Control” is proposed which a global network control is performed from a broader viewpoint. Unlike QoS or traffic controls, strategic network control is expected to apply for promoting a “paradigm shift” of network protocol such as smooth and fast deployment of new protocols under a global consensus of networking communities. To achieve this goal, in this research, four fundamental themes have been addressed. Since a control strategy can be considered based on the relation between user experiences and network control, results obtained from research are promising for realizing a smooth paradigm shift in future networks.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
2008年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
2009年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
2010年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
総計	16,900,000	5,070,000	21,970,000

研究分野：情報通信ネットワーク

科研費の分科・細目：情報学 計算機システム・ネットワーク

キーワード：戦略的ネットワーク制御、相対的主観評価、ネットワーク計測、TCP/IP、ストリーミング、ファイルダウンロード、通信品質、トラヒック制御

1. 研究開始当初の背景

ネットワークが世界レベルで広く普及し、接続ノード数が爆発的に増大し、多種多様な考えを持つユーザが混在する現在のインターネットでは、新しいネットワークの考え方を

導入することが容易ではない。新しいネットワークパラダイムに対して、今後ネットワークプロバイダ、ひいては社会全体としてどのように取り扱っていくべきか、ということを経営戦略として決定し、その戦略

一に基づいて適切なトラフィック制御を行うことに他ならない。個別のフローに対する品質制御や、ネットワークプロビジョニングなどによる QoS 制御は、あくまでも個々の通信品質のみを対象とした制御であり、また個別の通信品質を満足するための制御は既存パラダイムのユーザにとって満足度を高めるものであり、新パラダイムの優位性が明示されない以上パラダイムシフトのドライビングフォースとはなりえない。ネットワークパラダイム自体を施策的に取り扱ったネットワーク制御法が、将来のネットワークのパラダイムシフトを考える上で必要不可欠である。

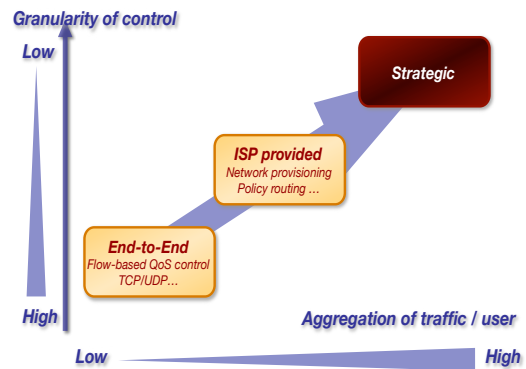
2. 研究の目的

戦略的ネットワーク制御とは、ネットワークにおいて通信パラダイムのシフトがおこなわれる際に、将来のあるべき方向性（ストラテジー）をあらかじめ決定し、その方向性に基づいたネットワークの制御を行うことである。個別のエンドユーザに対しきめ細かい制御を実現するのがエンド間制御（End-to-End Control）であり、エンド間 QoS 制御や TCP などのフロー制御が挙げられる。次に、ISP 内あるいは信頼できる ISP 間で構成される管理ネットワークにおいて集約されたトラフィックをもとにネットワークプロビジョニングや品質制御などを行うプロバイダ提供型制御がある。そして戦略的ネットワーク制御は、より集約されたネットワークにおいて、プロトコルの普及や新しいネットワークパラダイムの導入を促進するために存在する。戦略的ネットワーク制御の目的およびその成果として、主に (1) 新しいネットワークプロトコル（エンド間トラフィック制御）の普及促進、(2) 新しいネットワークパラダイムの容易かつ安全な導入、(3) 特徴の大きく異なる（バルク・リアルタイムなど）異種プロトコル間の調停・協調などがある。いずれも、既存あるいは一方のプロトコル・パラダイムのユーザとの整合性を考慮することこそが本課題が果たすべき役割である。以上の背景に基づき、本課題では提唱する「戦略的ネットワーク制御」を実現するための基盤技術に関する研究開発を行う。

3. 研究の方法

本研究では、戦略的ネットワーク制御に必要な以下の4つの基本課題について取り組んだ。

「課題1 パラダイムシフトを実現するためのストラテジーの決定」では、パラダイムシフトを考える上で発生する新旧パラダイ



ムの利点欠点が相反する問題を同時に解決するために、両パラダイムに対してどのような施策を行うべきかのストラテジーを決定するための手法を確立させる。パラダイムシフトを実際に行うのはユーザの判断であることから、各パラダイムに対してユーザがどのように感じているか、というユーザの主観的な満足度を各パラダイムに対して指標化することによってユーザが感じる品質として、相対的主観評価値（Relative Mean Opinion Score; R-MOS）を新しく定義し数値化する。これは、変更された通信が「今までと体感的に同じだと感じる」場合に5、「明らかに劣化して満足できない」場合に1とするスコアである。R-MOS の数値化は研究協力者による評価実験で行う。

「課題2 ネットワーク制御を行うためのオンライントラフィック識別技術」では、ネットワークに混在する複数のネットワークパラダイムによるトラフィックを、統計的な差異に着目しそれぞれのパラダイムに分類する技術を開発する。各パラダイムのトラフィックの特性をもとに、軽量・高速かつ高精度のトラフィック識別技術の研究開発を行う。特に、リアルタイム性を重視した高速・軽量な方法を検討する。まず実在する一対のパラダイム（リアルタイムとバルク、TCP Reno と HSTCP など）に対して、それぞれのトラフィックの統計的特徴の差異から、トラフィック識別が可能であるかを検証する。まずはバルク・リアルタイムが混在するネットワークのトラフィックから、より高精度にリアルタイムトラフィックを識別する手法を検討する。それと並列し、TCP の異なるバージョンのトラフィックの識別技術についても検討する。その後、開発した方式をより一般化し、あるパラダイムのトラフィックから特徴的な統計値をあらかじめ抽出し、そのパターンに当てはまらないトラフィックを別のパラダイムのトラフィックとする、新しい識別技術の研究開発を行う。

「課題3 ストラテジーに対するネットワーク制御パラメータのマッピング」では、それぞれのパラダイムに対するストラテジーを実現するために、実際に制御すべきネットワークパラメータを導出し、ストラテジーとのマッピングを行う。複数パラダイムのトラフィックが混在している環境において、一方のパラダイムが他方のトラフィックにどの程度影響があるかを明らかにする。具体的には、ある一定数のユーザがネットワークリンクを共有している場合を考え、全体のうちあるパラダイムの利用者が占める割合（シェア）が0%~100% まで変化した場合に、残りのパラダイムユーザの性能（課題1で決定した競合するネットワークパラメータ）が、シェアが0% の場合と比較してどの程度劣化するのかを明らかにする。さらにトラフィックの傾向やトラフィック種別によりグループ分け（バルク、ストリーミング、音声通話等）を行い、グループごとに同様の手法によってシェアによる品質劣化を明らかにする。

「課題4 高速ネットワークにおけるストラテジーに基づくオンライン制御法」では、課題2で識別されたそれぞれのパラダイムのトラフィックに対し、課題3で得られたパラメータを用いてパラダイムのトラフィックごとに制御を行う。また、シミュレーションおよび実機を用いた性能評価により、提案する戦略的ネットワーク制御の有効性を明らかにする。

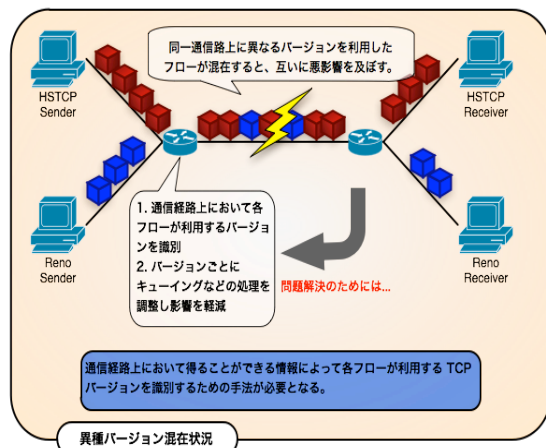
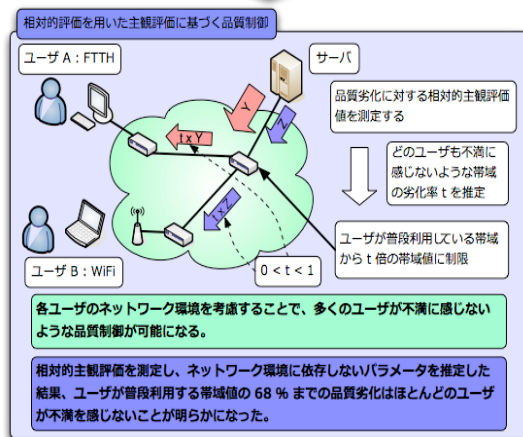
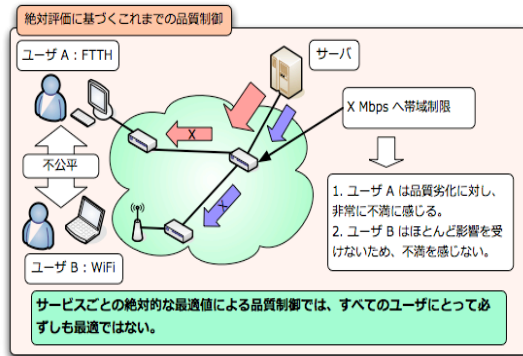
4. 研究成果

(1) パラダイムシフトを実現するためのストラテジーの決定

「バルクトラフィックの性能劣化品質評価」では、約100名の被験者に対し、基準となるスループット性能に対して「性能が変化（劣化）」したと体感的に認識できる性能を評価する実験を行った。その結果、被験者が異なる性能と判断する境界値の平均はおよそ50%である12.5Mbps程度であることが分かった。さらに、バルクデータのダウンロードにおける環境非依存パラメータの推定を行った。そのためにまず、さまざまなユーザを対象とした主観値測定実験を行った。その結果、さまざまな環境において、いずれの場合も通常時から約65%の通信品質の劣化が生じることでユーザが不満に感じる事がわかった。

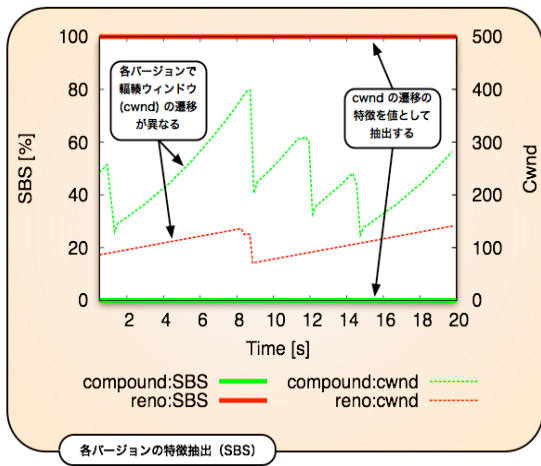
(2) ネットワーク制御を行うためのオンライントラフィック識別技術

「オンラインによるリアルタイムトラフィック識別手法」については、パケット到着間隔に着目し、その統計的差異からフローを高レートリアルタイム（動画）、低レート（音声）、およびバルクトラフィックに分類する手法を

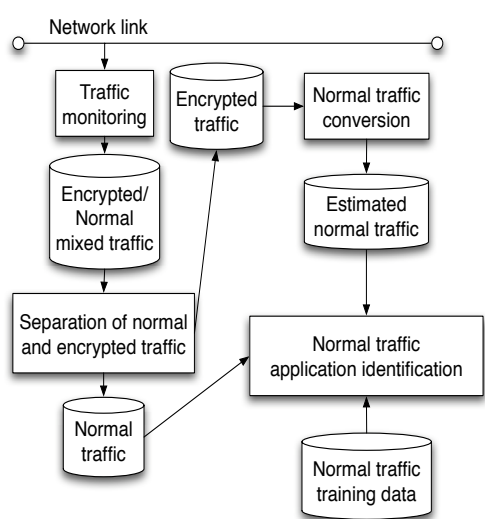


提案した。エンドユーザの家庭環境、キャンパスゲートウェイなどに提案手法を実装したモニタリング機器を設置し、評価した結果、様々な環境において90%以上という非常に高い精度でリアルタイムトラフィックを抽出することができた。

また、「ルータにおけるTCPの到着特性を利用したTCPバージョン識別法」について、通信経路上におけるTCPバージョンのリアルタイム識別法を提案した。TCPの輻輳ウィンドウの増加量や増加率の値や変化の規則を抽出できる統計値を特徴値として定義し、その値をフローごとに求めて識別を行う。特徴値は複数利用することで識別精度の向上と



各バージョンの特徴抽出 (SBS)

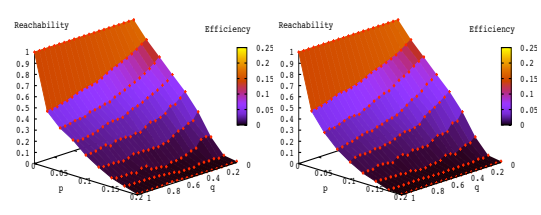
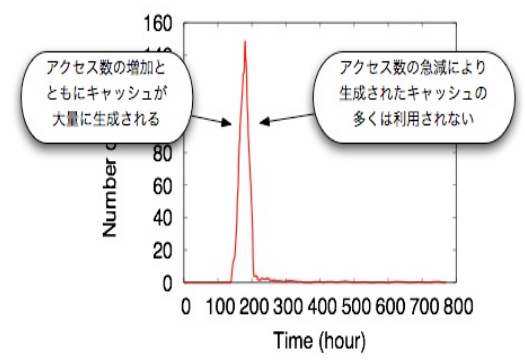


判断の多角化を行う。そして求めた特徴値をそれぞれ多次元の座標として扱い、各フローをクラスタリングによって分類することで、各バージョンの識別を行った。シミュレーションによる識別結果では、14種類のバージョンのうち任意の2つのバージョンが混在するネットワークを想定したシミュレーションでは、約85%の組み合わせにおいて20秒以内の識別が可能であることを示した。

さらに、トラフィックが暗号化などのエンコードによって元の統計的性質が変化した場合についても、その変化量を定量的にモデル化し、結果をフィードバックすることで不確定要素を減らす手法について研究開発をおこなった。その結果、暗号化による特性変化を適用することで、既存のアプリケーション識別が高い精度で識別できることを示した。

(3) ストラテジーに対するネットワーク制御パラメータのマッピング

ネットワーク制御によってユーザが経験する品質は、各ユーザがどのような要求を行うかに大きく依存する。特にユーザの要求頻度は、「トレンド」と呼ばれる時間的大きく変動する傾向を持つ。ユーザのトレンドを大



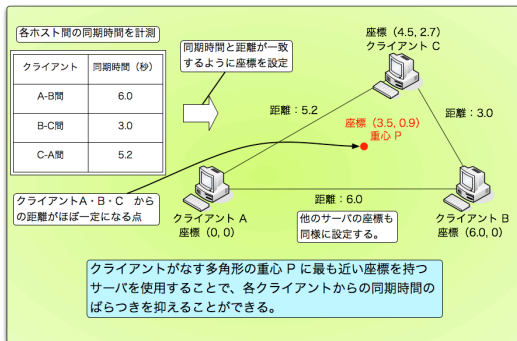
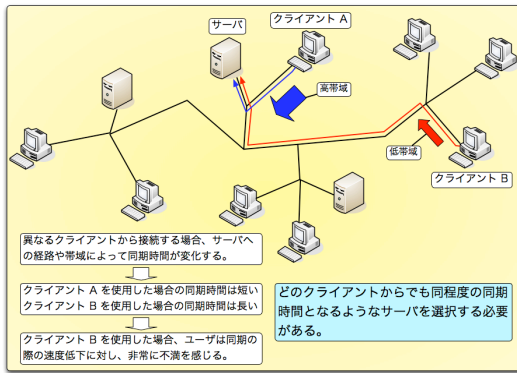
域的に調査するため、P2P ファイルシステムにおけるコンテンツへの要求の時間的傾向（トレンドパターン）を収集し、トレンドパターンの分類を行った。まず、そのために実際の P2P ファイル共有システムにおけるトレンドパターンを調査するため、クローラを用いて検索クエリの収集を行う。さらに、計測した個々のクエリの時系列推移データに対して離散フーリエ変換 (DFT) を適用することにより、個々のクエリの時系列推移パターン間の非類似度を導出し、階層的クラスタリングによりトレンドパターンの分類を行った。その結果トレンドパターンは大きく4種類に分類できることが分かった。

「ルータにおける TCP の到着特性を利用した TCP バージョン識別法」において、TCP がネットワーク環境の変化によってどのような性能劣化が生じるかについてシミュレーションにより分析した。

(4) 高速ネットワークにおけるストラテジーに基づくオンライン制御法

「社会行動モデルを応用した戦略的なトポロジ再構築法」について、現状のインターネットの構造に対し、情報検索の効率を維持しつつ耐障害性を高められるトポロジが存在することを示し、そのトポロジを実現するためにどのような接続戦略をとればよいかを明らかにした。

また、「分散システムにおける性能均一化のためのサーバ性能計測手法とその計測結果に基づくサーバ選択手法」において、異なるネットワーク環境においても性能を均一化するための手法を提案した。ここでは、計測によって得られる多種のネットワーク性能値を距離としてマッピングし、クライアントノードを座標軸に配置する。そして、クライ



アントノードから構成される図形の重心を導出することにより、ネットワーク指標が最も均一化されるノード位置を決定する。シミュレーションによる性能評価から、ランダムにサーバを選択した場合の同期時間の分散の比を評価指標として評価を行った。その結果、クライアントの全組み合わせのうちおよそ 80 %において、提案手法による性能の改善が見られることがわかった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 34 件)

うち 14 件は査読有。

- ① Yasuhiro Sato, Shingo Ata, Ikuo Oka, "Estimating Environment Independent Parameters on basis of Comparative Assessment of User's Subjectivity," IEICE Transactions on Communications, 2011 (to appear) (査読有)
- ② Yohei Okada, Shingo Ata, Nobuyuki Nakamura, Yoshihiro Nakahira, Ikuo Oka, "Application Identification from Encrypted Traffic based on Characteristic Changes by Encryption," Proc. IEEE CQR 2011, (to appear) May 2011. (査読有)
- ③ 田路祐介, 阿多信吾, 岡育生, 「アドレス空間特性を適用した匿名化トレースデータによるネットワーク性能評価法」電

子情報通信学会論文誌、J93-B, pp. 32-42, January 2010. (査読有)

- ④ Yasuhiro Sato, Shingo Ata, Ikuo Oka, "Strategic Approach for Re-organizing the Internet Topology by Applying Social Behavior Dynamics," Journal of Network and Systems Management, vol. 17, pp. 208-229, June 2009 (査読有)
- ⑤ Junpei Oshio, Shingo Ata, Ikuo Oka, "Identification of Different TCP Versions Based on Cluster Analysis," Proc. IEEE ICCCN 2009, pp.1-6, August 2009. (査読有)
- ⑥ 磯崎裕臣, 阿多信吾, 岡育生, 「マーケティング数推定による確率的パケットマーキングの高速化手法」電子情報通信学会論文誌、J92-B, pp. 840-852, May 2009. (査読有)
- ⑦ Masaki Tai, Shingo Ata, Ikuo Oka, "Environment-Independent Online Real-Time Traffic Identification," Proc. ICNS 2008, pp. 230-235, March 2008. (査読有)

[その他]

- ① ホームページ等
<http://www.n.info.eng.osaka-cu.ac.jp/research> に研究成果の概要を公表
- ② 2008 年度研究発表 土井将登, 阿多信吾, 岡育生, "P2P ファイル共有システムにおけるクエリトレンドパターンの分析," について電子情報通信学会より情報通信マネジメント研究賞を受賞
- ③ 2010 年度研究発表 岡田洋平, 阿多信吾, 中村信之, 中平佳裕, 岡育生 「暗号化によるフロー特性変化にもとづく暗号化トラヒックに対応したアプリケーション識別法」について電子情報通信学会より情報ネットワーク研究賞を受賞
- ④ 2011 年度研究発表 Yohei Okada, Shingo Ata, Nobuyuki Nakamura, Yoshihiro Nakahira, Ikuo Oka, "Application Identification from Encrypted Traffic based on Characteristic Changes by Encryption" について 2011 IEEE International Communications Quality and Reliability (CQR) Workshop において Best Paper Award を受賞

6. 研究組織

(1) 研究代表者

阿多 信吾 (ATA SHINGO)

大阪市立大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 30326251