

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：32619

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23760344

研究課題名(和文) 自律分散型 P2P トラフィック制御システム

研究課題名(英文) A distributed autonomous P2P traffic control system

研究代表者

三好 匠 (MIYOSHI, Takumi)

芝浦工業大学・システム工学部・教授

研究者番号：40318861

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000 円、(間接経費) 1,020,000 円

研究成果の概要(和文)：P2P技術は、サーバの配信負荷をユーザ側に移動させる技術として注目されており、今後P2Pを用いた映像配信サービス(P2PTV)の普及が期待されている。しかし、P2Pはネットワークの物理的構造を考慮しないため、遠方のピアと接続するなど非効率な通信接続が多く発生する。本研究では、P2PTVにより発生するトラフィックをゲートウェイルータで自律分散的に制御し、近隣のピアへと誘導するためのシステムを開発し、実装実験による評価を行った。実験の結果、提案手法を用いることで、P2Pアプリケーションを改変することなくP2PTVトラフィックの局在化を行うことに成功した。

研究成果の概要(英文)：P2P communication has attracted attention as a technology to distribute delivering and processing load of servers to user peers. It is expected that video delivery service on P2P, called P2PTV, will grow popular. However, the P2P communications may cause inefficient connections with faraway peers due to not considering the topology of physical network. This research proposes and develops a distributed autonomous system to control and lead the P2PTV traffic to neighbor peers. The evaluations were executed using an implementation on real systems. The results show that the proposed mechanism can successfully localize P2PTV traffic into neighboring area without modifying the P2PTV application.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学，通信・ネットワーク工学

キーワード：国際情報交流 ピア・ツー・ピア トラフィック分析 トラフィック制御 映像配信 自律分散

1. 研究開始当初の背景

近年のインターネットトラフィックの爆発的増加は、ピアツーピア (P2P) と映像配信が原因と言われている。映像配信サービスにおいても、ユーザ拡大に伴うサーバコスト増大を避けるため、P2P 技術を用いて配信負荷をユーザ側に移動させる P2P 型映像配信サービス (P2PTV) に注目が集まっており、世界中で利用者が急増している。P2PTV では、個々のピア間に多量のトラフィックが発生するため、従来とは全く異なる特徴をもつトラフィック分布を生じる。特に問題となるのは、P2P アプリケーションが物理ネットワークを考慮することなく、非効率なピア選択や経路選択をする点である。そのため、想定外のふくそうが発生し、インターネットサービス事業者 (ISP) を悩ませている。

この問題に対処するため、ALTO と呼ばれる通信方式が提案されている。ALTO の基本的考え方は、情報提供サーバを用いた大規模な P2P トラフィックの管理統制であり、ISP とユーザの双方を巻き込む大掛かりなシステムデザインとなっている。しかし、分散制御を基本理念として発展したインターネットでは、大規模な管理機能の導入は困難であり、ISP によってはネットワーク情報の開示を拒むケースもあろう。また、ALTO の機能を導入することはアプリケーション開発者の自由であり、すべての P2P アプリケーションを管理することは非常に困難である。

近年、研究代表者を含む多くの研究者が P2P 型映像配信サービスのトラフィック分析を行っている。分析の結果、P2P アプリケーションが実際に通信を行う接続先ピアは世界中に分布しており、物理的な距離等を考慮することなくランダムに選択されていると見られている。今後 P2PTV が更に増加することを考えると、導入が容易で、即効性があり、かつ簡単な仕組みで動作するスケーラブルな P2P トラフィック制御技術が必要である。

2. 研究の目的

本研究では、P2PTV を主なターゲットとして、導入が容易でかつ即効性のある自律的 P2P トラフィック制御技術について研究を行う。具体的には、ALTO が実現しようとしている P2P の効率的なピア選択機能を、サーバ機能の導入や P2P アプリケーションの改変なしに実現する P2P トラフィック制御システムの構築を目指す。提案システムは単体、あるいは他のシステムと連携しながら動作し、自律分散的に P2P トラフィックの制御を行う。

研究課題は以下の 2 点に分類される。

(1) 対象とする P2PTV トラフィックについて、特性解析を行い、P2P アプリケーションがどのように接続先ピアを選択し、通信経路を確立しているかを分析する。また、P2P 通信フローに対して、フロー切断、遅延印加、パケット損失などさまざまな処理を実行し、P2PTV アプリケーションがどのような挙動を

示すかを詳細に分析する。

(2) (1) での分析結果に基づき、P2P トラフィックを適切に制御するためのシステムを設計・開発し、実装実験に基づく評価を実施する。実装形態としては、まずは単体での動作を検討する。ゲートウェイルータ内に制御機能を導入することで、提案システムの実現を目指す。その後、システム間の連携機能を実装し、広域ネットワークを考慮したトラフィック制御を実現する。

3. 研究の方法

以下の計画に基づいて研究を遂行した。

(1) P2PTV のトラフィック分析

P2PTV トラフィックの特性を明確にするため、P2P アプリケーションのトラフィック分析を実施する。P2P トラフィックの世界的な分布を明らかにするため、P2PTV トラフィック特性解析を実施する。本研究では、特に映像配信開始直後のトラフィック分布に注目して特性解析を実施する。また、今後 P2PTV が大衆化し、テレビと同じような視聴形態となり得ることから、高速にチャンネル切り替えを行う「ザッピング」時のトラフィック分析も実施する。トラフィック分析結果は、P2P 通信フローの特定手法や効率判定手法の確立に資する。

(2) P2P トラフィック制御システムの開発

P2P 通信フローに対してさまざまな処理を実行し、P2P アプリケーションがどのような挙動を示すかを詳細に分析する。具体的には、長距離フローなどネットワーク資源の浪費につながる P2P 通信フローに対して、通信切断、接続先変更、遅延印加、パケット損失、通信帯域制限などさまざまな処理を与え、アプリケーションの挙動を調査する。

得られた分析結果をもとに、P2P トラフィック制御システムの設計、開発を行う。ゲートウェイルータへの実装を想定し、制御システムの全体設計と個々の機能の設計を行う。また、インターネット上で提案システムの動作実験を実施し、提案システムの有効性を評価する。

(3) P2P トラフィック制御システムの連携方式

ネットワーク上の複数の制御システムが連携して動作できるように、システム間連携機能について検討する。連携システムにより、各システムが収集した情報を共有できるようになるため、より効率的な P2P トラフィック制御が可能になると考えられる。

4. 研究成果

(1) P2PTV のトラフィック分析

P2PTV アプリケーションとして PPStream を使用し、同一のチャンネルを視聴した場合、及び複数のチャンネルをザッピング視聴した場合のトラフィック分析を行った。チャンネル切り替えスケジュールを図 1 に示す。選択したチャンネルはビットレートが約 400kbps で、コン

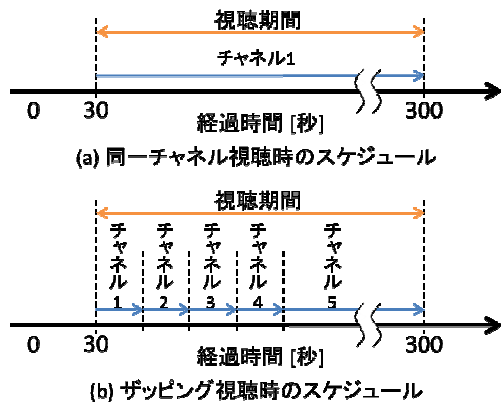


図 1 P2PTV 視聴スケジュール

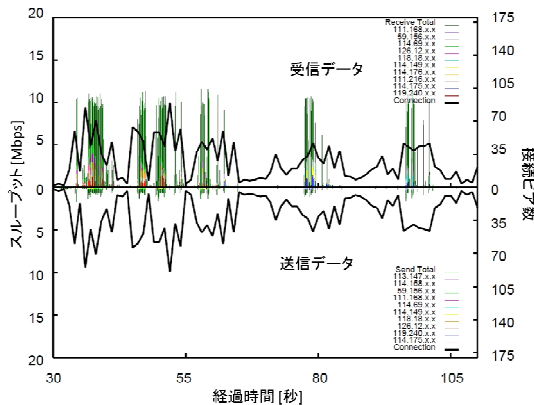


図 2 同一チャンネル視聴時のトラフィック

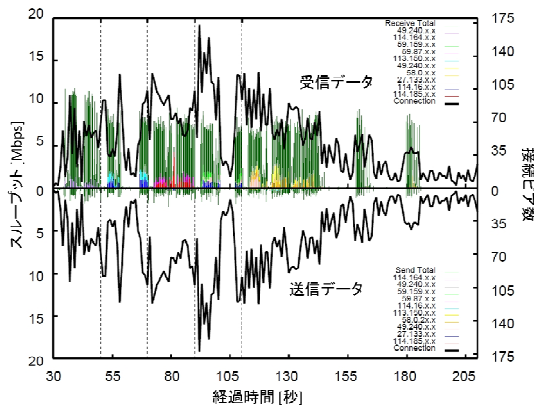


図 3 ザッピング視聴時のトラフィック

テンツの長さは 20 分以上、動画開始前に広告が表示される。ネットワーク環境は、接続回線がフレッツ光ネクスト、ISP がぷららである (以下同様)。

トラフィックの分析結果を図2, 図3に示す。図2より、同一チャンネルを継続的に視聴する場合には、50 程度のピアに接続して動画を受信していることが分かる。一方、ザッピングによりチャンネルが切り替わった直後には、接続ピア数が約 200 に跳ね上がり、受信データが継続的に到着していることが分かる。接続ピアの IP アドレスの変化から、チャンネルを切り替えて別の動画を移動したときには、異なるピアに接続してデータを受信していることが分かる。接続先ピアには日本国内のものも含まれるが、中国、韓国、香港、インド

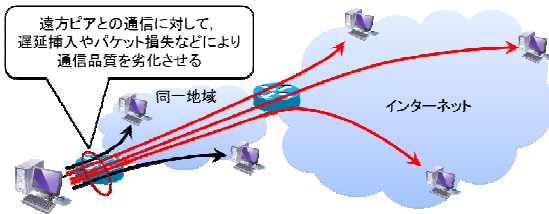


図 4 P2P トラフィック制御システムの概略

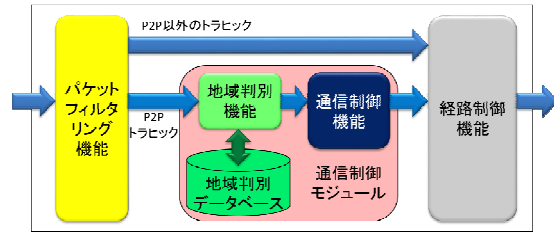


図 5 P2P トラフィック制御ルータの構造

ネシアなどアジア諸国を中心に世界中からデータを受信していることが分かった。

(2) P2P トラフィック制御システムの開発

図4に、提案する P2P トラフィック制御システムの概略を示す。提案手法では、ゲートウェイルータにて P2P トラフィックを監視する。接続先ピアが遠方に存在する場合にのみ、該当する通信パケットに対して接続先を変更したり、遅延印加、パケット損失、帯域制限などの手法により通信品質を劣化させる。一方、同一地域などに存在する近隣ピアとの通信に対しては通信品質の劣化が生じないため、相対的に近隣ピアとの通信品質が向上する。そのため、P2P アプリケーションは、通信品質がよく応答の速い近隣ピアとの通信を優先するようになると考えられる。

提案する P2P トラフィック制御システムの実装方法を、図5に示す。経路制御機能を有する一般的なゲートウェイルータに、パケットフィルタリング機能、地域判別機能、通信制御機能を実装することで、所望の動作を実現する。パケットフィルタリング機能は、ゲートウェイルータに入力するトラフィックを監視し、P2P アプリケーションから発生したパケットを判別して通信制御モジュールに送る。通信制御モジュールでは、地域判別機能により、接続先ピアの所在地を確認する。本研究では、MaxMind 社により提供される GeoIP データベース (無償) を用いて、IP アドレスから所在地を識別する。得られた所在地情報に基づいて、通信制御機能により接続先変更、遅延印加、パケット損失、帯域制限などの通信制御を実施する。なお、パケットフィルタリング機能については、すでに多くの検討がなされていることから、本研究の対象外とした。

通信制御の方法としては、接続先変更、遅延印加、パケット損失、帯域制限などの方法が考えられる。接続先変更手法では、遠方ピアの IP アドレスを近隣ピアに変更する。遅

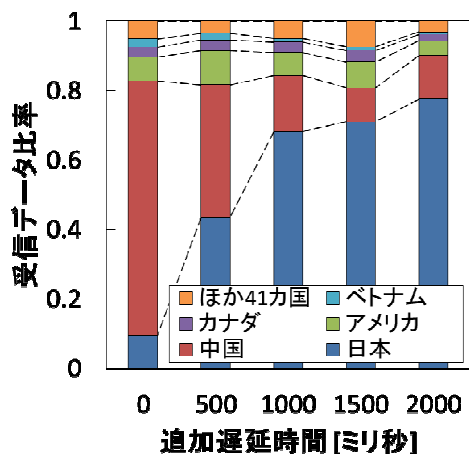


図6 提案システムによるトラフィック誘導効果：受信データ比率 (SopCast)

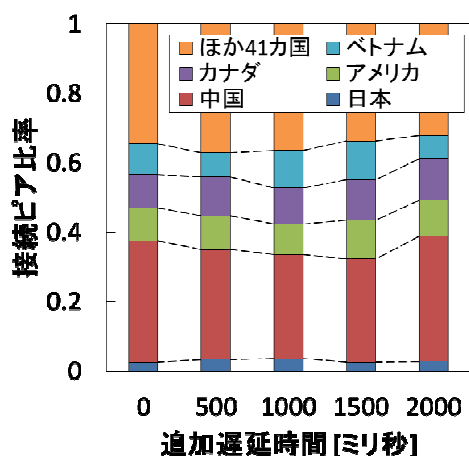


図7 提案システムによるトラフィック誘導効果：接続ピア比率 (SopCast)

遅延印加手法では、遠方ピアとの通信パケットを一時的にルータで保留することにより、通信遅延を増加させる。パケット損失手法では、遠方ピアとの通信パケットをルータで廃棄する。帯域制限手法では、遠方ピアとの通信速度をルータで制御する。接続先変更手法が強制的に通信トラフィックの局在化を実現するのに対し、遅延印加、パケット損失、帯域制限の各手法は遠方ピアとの通信品質を劣化させることが目的である。

2つのLANカードを有するデスクトップPCにP2Pトラフィック制御システムを実装し、ゲートウェイルータとして動作させてトラフィック誘導効果の検証を行った。P2PTVアプリケーションとして代表的なSopCast, PPStream, PPTVを利用して測定実験を行った。本報告書では、紙面の都合からSopCastに対して遅延印加手法を用いた場合の結果のみを示す。なお、他のいずれの場合も同様の結果を得ている。

まず、通信制御の方法として、日本国外に存在するピア（海外ピア）との通信に500～2000ミリ秒の追加遅延を印加し、日本国内に存在するピア（国内ピア）との通信を優先するように設定した場合の実験結果を、図6、

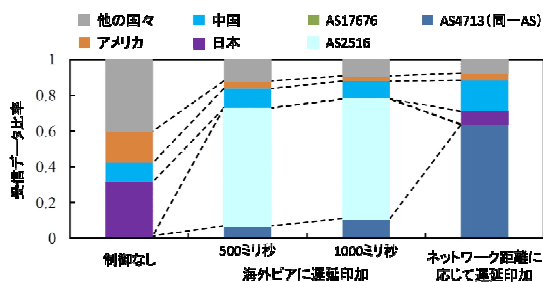


図8 ネットワーク距離に応じて遅延印加した場合の受信データ比率 (SopCast)

図7に示す。図6は受信データ量の比率を、図7は接続ピア数の比率を表す。図より、遅延を印加することで国内ピアからの受信データ比率が増加し、最大でP2PTVトラフィックの約70%を日本国内に誘導できていることが分かる。これは、提案するP2Pトラフィック制御システムにより海外ピアとの通信に追加遅延が発生し、接続先ピアからの応答が遅くなるためと考えられる。P2PTVアプリケーションは、応答速度の速い国内ピアを選択し、多くの映像データを受信ようになる。また図7より、遅延を印加しても接続先ピア数の分布は変化しないことが分かる。よって、わずか数%しか存在しない国内ピアを映像配信ピアとして選択し、データ量としては40～70%を受信していることが分かる。以上のことから、提案システムを用いることで、ALTOのような大規模なP2P管理システムを利用することなく、導入が容易で実効性のあるP2Pトラフィック局在化が実現されると結論できる。

次に、ネットワーク距離に応じた遅延印加手法について検討する。前述の遅延印加手法では、接続先ピアを国内か海外かに分類して追加遅延の印加を行うが、この手法で十分なトラフィック局在化効果を得るためには500ミリ秒以上の追加遅延時間が必要であり、動画再生の品質に影響を与えられられる。そこで、接続先ピアをより細かく分類し、同一のAS (Autonomous System, インターネットにおけるネットワークの最小単位) にあるか、同一のISPにあるか、同一国内にあるか、海外にあるかによって追加遅延時間を変化させる適応型遅延印加手法を提案した。

実験結果を図8に示す。図では、制御なし、海外ピアに遅延印加した場合 (500, 1000ミリ秒)、及び適応型遅延印加手法を比較している。図より、海外ピアに遅延を印加する手法でも日本国内へのトラフィック誘導は可能であるが、異なるASからの受信トラフィックが増加しており、完全なトラフィック局在化が実現されたとはいえない。一方、適応型遅延印加手法を用いることで、同一ASからの受信データ比率を60%以上にまで引き上げることが可能であり、より効率的なトラフィック局在化を達成したと結論できる。

(3) P2Pトラフィック制御システムの連携方式

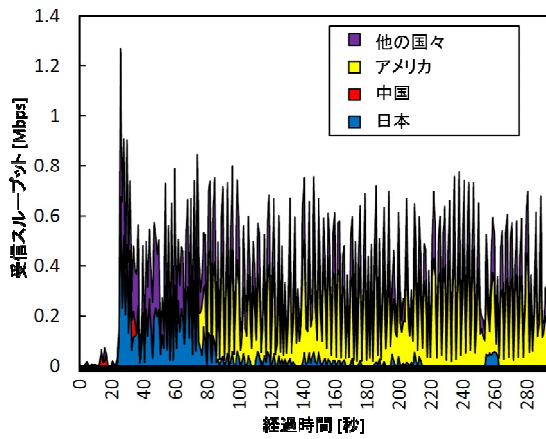


図9 制御なしの場合の時間変化

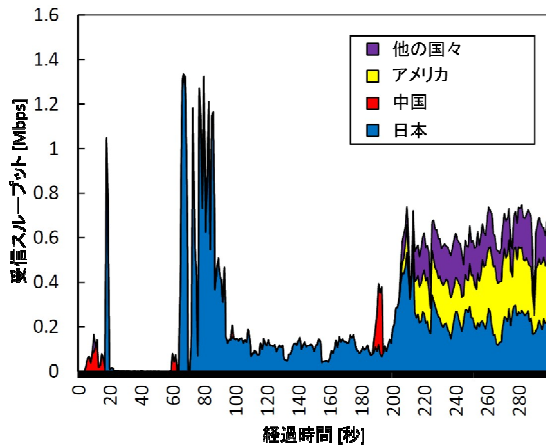


図10 接続先変更手法（単独動作）

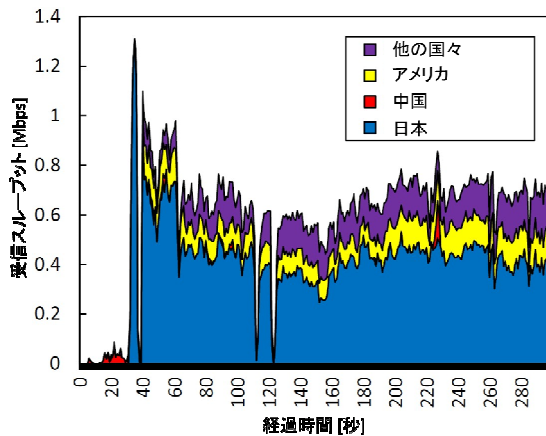


図11 接続先変更手法（協調動作）

提案する P2P トラフィック制御システムは、ユーザ宅にあるゲートウェイルータに実装して動作するため、導入が容易で軽量であるという利点がある。一方で、1 台のピアから得られる情報は限定的であり、トラフィックの局在化を進める上では不利になることがある。例えば、通信制御手法として接続先変更手法を用いる場合、遠方ピアの IP アドレスを近隣ピアに書き換えることでトラフィック局在化を実現するが、あらかじめ近隣ピアの IP アドレスリストを取得しておく必要がある。そこで本研究では、P2P トラフィック制御システムを実装した複数のゲートウェイ

ルータ間で通信を行い、近隣ピアの IP アドレスリストを共有することで協調的に P2P トラフィックの局在化を実現するための手法を考案した。

提案手法では、P2P トラフィック制御システムを実装したゲートウェイルータに、通信機能を追加する。各ゲートウェイルータで収集した近隣ピアの IP アドレスリストを、通信機能を用いて交換・共有することで、接続先変更手法の効率的な運用を実現する。

2 台のゲートウェイルータ GW1, GW2 と、それぞれのルータに接続された 2 台の PC を利用して、PPStream で同時に同じチャンネルを視聴したときのデータ受信速度（スループット）を測定した。GW1 は、P2P トラフィック制御を行わないが、自身が取得した近隣ピアの IP アドレスリストを他のゲートウェイルータに提供する。図 9 に GW1 を通過する受信スループットの時間変動を示す。図 10 は、GW2 自身が収集した近隣ピアの IP アドレスリストのみを用いて接続先変更を行った場合の結果である（単独動作）。一方、図 11 では、GW2 は自身が収集した IP アドレスリストのほかに、GW1 が収集した IP アドレスリストを通信機能により取得して利用した場合の結果である（協調動作）。なお、ここでの実験では日本国内に存在するピアを近隣ピアとして制御を実施した。

まず図 9 より、P2P トラフィック制御システムを利用しない場合には、日本国内からのトラフィックはあまり多くなく、アメリカからのデータが過半を占めていることが分かる。一方、図 10, 図 11 より、単独動作、協調動作のいずれの場合もトラフィック局在化に成功しており、日本からの受信データ比率が大きくなっている。2 台のゲートウェイルータを協調動作させる手法では、接続先変更を行うための近隣ピアの候補が増加することから、視聴開始直後から近隣ピアへのトラフィック誘導が可能となっている。また、日本国内からのデータ量比率も大きくなる。以上のことから、P2P トラフィック制御システムのゲートウェイルータ間協調動作方式により、より効果的なトラフィック局在化が実現されると結論できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 3 件）

- ① H. Hoang-Van, Y. Shinozaki, T. Miyoshi, O. Fourmaux, A router-aided hierarchical P2P traffic localization based on variable additional delay insertion, IEICE Transactions on Communications, Vol. E97-B, pp. 29-39, 2014 年, 査読有.
- ② H. Hoang-Van, K. Mizutani, T. Miyoshi, O. Fourmaux, P2P traffic localization by forcing packet loss, International Journal of Networked and Distributed Computing, Vol. 1, pp. 251-259, 2013 年,

査読有.

- ③ 篠崎友希, 三好 匠, オリヴィエフルモー, 地上法に基づく遅延挿入による P2P トラヒック誘導方式, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J96-B, pp. 819-830, 2013 年, 査読有.

[学会発表] (計 32 件)

- ① H. Hoang-Van, T. Miyoshi, O. Fourmaux, A hierarchical P2P traffic localization method with bandwidth limitation, IEEE International Conference on Communications (ICC2014), Sydney, Australia, 2014 年 6 月 12 日, 査読有.
- ② 篠崎友希, 三好 匠, オリヴィエフルモー, 制御パケット判別による遅延挿入形 P2PTV トラヒック誘導方式の QoS/QoE 評価, 電子情報通信学会技術研究報告, 長崎県, 2013 年 11 月 14 日, 査読無.
- ③ H. Hoang-Van, T. Miyoshi, O. Fourmaux, A Hierarchical P2P Traffic Localization Method with Bandwidth Limitation, 10th IEEE RIVF International Conference on Computing and Communication Technologies (RIVF2013), Hanoi, Vietnam, 2013 年 11 月 11 日, 査読有.
- ④ K. Mizutani, Y. Shinozaki, H. Hoang-Van, T. Miyoshi, An adaptive packet discard method for P2P traffic localization, 15th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS2013), Hiroshima, Japan, 2013 年 9 月 26 日, 査読有.
- ⑤ H. Pham-Thi, T. Miyoshi, Effect of Group-of-Picture Size to Quality of Experience on P2PTV, 15th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS2013), Hiroshima, Japan, 2013 年 9 月 26 日, 査読有.
- ⑥ H. Hoang-Van, T. Miyoshi, O. Fourmaux, P2PTV traffic localization by deep packet inspection, 14th IEEE/ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing (SNPD2013), Hawaii, USA, 2013 年 7 月 2 日, 査読有.
- ⑦ H. Hoang-Van, K. Mizutani, T. Miyoshi, and O. Fourmaux, P2P Traffic Localization by Forcing Packet Loss, 12th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science (ICIS2013), Niigata, Japan, 2013 年 6 月 18 日, 査読有.
- ⑧ 水谷光貴, 篠崎友希, 三好 匠, パケット損失制御による P2P 形トラヒック局在化手法とその評価, 電子情報通信学会技術研究報告, 沖縄県, 2013 年 3 月 8 日, 査読無.

- ⑨ 篠崎友希, 三好 匠, オリヴィエフルモー, 遅延挿入による P2PTV トラヒック誘導方式の QoS/QoE 評価, 電子情報通信学会技術研究報告, 滋賀県, 2012 年 11 月 15 日, 査読無.
- ⑩ T. Miyoshi, Y. Shinozaki, O. Fourmaux, A P2P Traffic Localization Method with Additional Delay Insertion, 4th International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS2012), Bucharest, Romania, 2012 年 9 月 19 日, 査読有.
- ⑪ M. Wang, O. Fourmaux, Y. Nakamura, T. Miyoshi, Network Impact of P2P-TV Zapping, World Telecommunications Congress (WTC2012), Miyazaki, Japan, 2012 年 3 月 5 日, 査読有.
- ⑫ 篠崎友希, 三好 匠, 位置情報に基づく遅延挿入による P2P-TV トラヒック誘導方式, 電子情報通信学会第 2 回ネットワーク仮想化研究会予稿集, 青森県, 2011 年 11 月 10 日, 査読無.
- ⑬ 中村優子, 三好 匠, オリヴィエフルモー, P2P 形映像配信サービスにおけるザッピング発生時のトラヒック分析, 電子情報通信学会技術研究報告, 北海道, 2011 年 7 月 15 日, 査読無.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三好 匠 (MIYOSHI, Takumi)
芝浦工業大学・システム理工学部・教授
研究者番号: 40318861

(2) 研究協力者

オリヴィエフルモー (FOURMAUX, Olivier)
パリ第 6 大学・情報学研究所・准教授