

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 15 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560398

研究課題名（和文） 高品質サービス保証型オーバーレイネットワークの設計・制御・構成法

研究課題名（英文） Design, Control and Architecture for QoS Guaranteed Overlay Networks

研究代表者

笠原 正治 (KASAHARA SHOJI)

京都大学・大学院情報学研究科・准教授

研究者番号：20263139

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、オーバーレイ網上で高度な通信品質保証を提供するためのネットワーク構成法とトポロジー制御法について研究を行った。研究成果として、ノードの物理的な接続環境と論理的なネットワーク構成が動画品質に与える効果を定量的に明らかにし、また、ピア・ツウ・ピア型通信における動画配信法について高品質な動画を提供するデータ配信方式を提案してその効果を理論的評価と計算機シミュレーションにより確認した。

研究成果の概要（英文）：This study considered network architectures and topology control schemes for guaranteeing quality of services in overlay networks. We investigated how video quality is affected by node-connection environments and logical network topologies. We also proposed a data dissemination scheme for high-quality video over peer-to-peer networks. The performance of the proposed scheme was investigated by Markov analysis and computer simulation.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

研究費の分科・細目：電気電子工学・通信ネットワーク工学

キーワード：ネットワーク・LAN・オーバーレイネットワーク

## 1. 研究開始当初の背景

Peer-to-Peer (P2P) 網やアプリケーションマルチキャスト、コンテンツ配信網に代表されるオーバーレイ網では、トランスポート層以下を高度に隠蔽・抽象化し、エンドホスト同士を論理網レベルで直接接続することで、処理負荷を複数のエンドホストに分散し、サービスの利用効率を向上させている。しかしながら、負荷分散の対象は共有するコンテンツデータやエンドホストにおける計算資源の使用量であり、時々刻々と変化するエンドユーザの通信需要やネットワーク負荷への対応

も含めた包括的な動的負荷分散手法についての研究はまだ緒についたばかりである。

オーバーレイ網上でアプリケーションレベルの通信品質（以下QoS）保証を目指した関連研究として、インターネット経路制御の安定化を目指したRON [Andersen他'01]、遅延やロス率の推定に基づいた経路選択制御を行うQRON [Li他'04]、エンド・ツウ・エンドのQoS保証を実現するための適切な帯域割当方策を検討したSON [Duan他'03] が挙げられる。これらの手法で共通しているのは、構成したオーバーレイ網上のリンクに対し、遅延やロスを

計測することでリンク状態を推定し制御を行っている点である。網状態推定に関しては近年ネットワークトモグラフィの分野において、網トポロジーやボトルネックリンクの使用可能帯域をエンドホストのトランスポート層レベルで推定する研究が活発に行われている。エンドホストでの計測手法はACKパケットを基にしたものが多く、そのため往復にかかるラウンドトリップタイム（以下RTT）が計測・推定処理の時間基準となっている。ここでRTTの時間スケールに着目すると、エンド・ツウ・エンドの伝播遅延や途中に介在するルータ・スイッチにおけるバッファリング処理の影響等で、RTTは数十ミリ秒から数百ミリ秒の時間オーダーとなっている。一方ネットワーク層以下のデータ伝送においては、例えば10Gbpsの回線で1250バイトのIPパケットを転送する場合、ネットワーク層のデータ転送処理は1マイクロ秒のオーダーとなっている。このようにトランスポート層レベルとネットワーク層レベルの制御時間スケールには莫大な差があるため、ネットワーク層レベル以下の急激な変動をトランスポート層レベルで正確に推定することが極めて困難であることがわかる。

## 2. 研究の目的

本研究では、インターネットでは原理的に不可能であったエンドユーザレベルの高度なQoS保証を実現するため、測定・推定技術を駆使してトランスポート層以下のネットワーク状態を適切に把握し、加えてエンドユーザの通信要求発生状況をも予測することによって通信需要、エンドホストの計算資源負荷、さらにはネットワーク負荷を同時に分散するような、高度な自律分散型オーバーレイネットワーク技術の創出を目標としている。交付希望期間においては、(1) P2P網のファイル共有サービスおよびSkypeに代表されるオーバーレイレベルの実時間通信サービスに着目し、これら2つのオーバーレイ網が共存した環境において、ファイル共有サービスにおいてはファイル転送時間をできるだけ小さくし、実時間通信サービスにおいてはパケット棄却率を可能な限り低減できるような、異種オーバーレイ網混在環境における自律分散型トラヒック制御機構の確立、および(2) IPTV上のライブ放送のような、オーバーレイネットワーク技術単独では実現が困難である実時間制約の厳しい高速大容量通信に対して高度な品質保証を提供できる、P2Pパラダイムとクライアントサーバパラダイムを融合したスケール性の極めて高い高度通信品質保証アーキテクチャ

の確立、の二点について研究を遂行する。

## 3. 研究の方法

研究の第一段階として、SkypeのVoIPサービスに代表されるオーバーレイネットワーク上の実時間通信サービスについて、実時間データグラム（データグラム）の棄却率や遅延揺らぎを低減し、将来的には高精細動画ストリーミングをサポートできるような、オーバーレイレベルのトラヒック制御法について検討する。高品質な実時間通信サービスを提供するためには、オーバーレイデータグラムのエンド・ツウ・エンド遅延、遅延揺らぎ、そして棄却率をできる限り低く抑える必要がある。この目的のため、トランスポート層以下のネットワーク状態に加えて通信要求過程の変動予測も含めた論理トポロジー構成法やオーバーレイルーティングを検討する。

次にオーバーレイネットワーク上の実時間通信サービスについて、実時間データグラムの棄却率や遅延揺らぎを低減し、将来的には高精細動画ストリーミングをサポートできるような、オーバーレイレベルのトラヒック制御法について検討する。高品質な実時間通信サービスを提供するためには、オーバーレイデータグラムのエンド・ツウ・エンド遅延、遅延揺らぎ、そして棄却率をできる限り低く抑える必要がある。この目的のため、トランスポート層以下のネットワーク状態に加えて通信要求過程の変動予測も含めた論理トポロジー構成法やオーバーレイルーティングを検討する。オーバーレイデータグラムのQoS指標であるエンド・ツウ・エンド遅延、遅延揺らぎ、棄却率については受信側ノードで定期的に観測を行い、平均遅延、遅延の分散、そして平均の棄却率を指数加重平均で推定する。ここで得られた推定情報をオーバーレイレベルの経路制御管理ノードに通知し、迂回経路探索を含めたオーバーレイルーティングによって通信要求負荷とネットワーク負荷を同時に分散することを試みる。

## 4. 研究成果

2009年度は、オーバーレイトポロジーと物理網の性質がP2P動画配信サービスの通信品質に与える影響について、シミュレーションによる評価を行った。P2Pストリーミングシステムをオーバーレイ構造で大別すると、ツリー型システムとメッシュ型システムの2つに分類できる。ツリー型は、通信品質を考慮した配信木を事前に構成して動画配信を行うため、映像パケットの遅延やジッタを抑制できる一方、ピアノードの参加離脱が頻繁に発生する環境だと、配信木の再構築をその都度行う必要があるため、スケーラビリティに問題がある。メッシュ型では、各ノードはツリー型のような親子関係を構成することなく複

数のピアから映像データを受信する。そのため、ピアノードの参加離脱や故障に対する回復性能が高く、少ない帯域しか利用できないノードでもシステムに貢献できるという利点がある。このような利点のため、現在研究または実用化されている P2P ストリーミングシステムの多くはメッシュ型である。しかしながら、インターネットの高速大容量化が進んだ近年では、ツリー型でもより多くのノードがシステムに貢献でき、その利点を生かせると考えられる。ここでは各ノードの帯域幅を考慮し、ツリー型、メッシュ型それぞれの優位性をシミュレーションにより比較実験を行った。評価指標として、ネットワークに対する負荷の測度として物理層ネットワークにおけるリンクストレスを、スケーラビリティの測度としてストリーミング配信可能なクライアントノード数について検討を行った。数値例より、FTTH ノードが全体の6割を超えると、ツリー型でもスケーラビリティにおいてメッシュ型と同等の性能を示すことが判明した。

2010年度では、オーバーレイ網上の実時間通信アプリケーションとしてストリーミングサービスに着目し、前方誤り訂正符号 (FEC) によるフレーム品質改善効果について基礎的検討を行った。具体的にはボトルネックルータを二種類の到着過程を持つ単一サーバ待ち行列GI+M/M/1/Kでモデル化し、ブロックが連続してロスする連続ブロックロス長分布を導出した。性能評価量として連続ブロックロス長の平均と分散を考え、ボトルネックルータのバッファサイズ、FEC冗長度、バックグラウンドトラヒックの負荷がこれらの量に与える影響について評価を行った。その結果、フレームのバーストロスがFECにより大幅に低減されること、またFECによるバーストロス低減効果はルータのバッファを増強するよりも大きいことが判明した。

2011年度はまずオーバーレイネットワーク上の実時間通信サービスについて、実時間データグラム棄却率や遅延揺らぎを低減し、将来的には高精細動画ストリーミングをサポートできるような、オーバーレイレベルのトラヒック制御法について、特にP2Pライブストリーミングシステムに着目して研究を行った。P2Pライブストリーミングはオーバーレイトポロジーに依存して配信の安定性やスケーラビリティが変化する。ここではストリーミングを安定させ、かつスケーラビリティを向上させる動的オーバーレイトポロジー再構築法を検討した。具体的には、接続ピアからのデータ受信量を定期的に測定し、動画が安定しているかどうかを判断する。その上で接続ピアに対し、相手の遅延と帯域に基づく評価値の計算を行い、評価値を基に不適当

な接続ピアを確率的に切断する。提案メカニズムでは、配信が不安定とピアが判断すると遅延を重視して接続相手を変更し、安定と判断すると帯域を重視して接続相手を変更する。結果的に、配信が不安定なときは配信の安定化を進め、安定しているときはスケーラビリティを向上させることが期待できる。シミュレーション実験により、スケーラビリティの点でCoolstreamingより優位性があることが判明した。

次にP2P型オーバーレイネットワークにおけるSkypeやストリーミング等の実時間サービスに着目し、ノードの参加離脱を考慮したエンドユーザレベルの通信品質評価モデルの構築とその妥当性について検討を行った。ここでは特にCoolstreamingにおけるフレーム再構成用バッファ同期機構に対し、フレームの再構成間隔を連続時間マルコフ連鎖による理論解析を行い、ノードの参加離脱の頻度と再構成間隔の関係を定量的に明らかにした。

## 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 16 件)

1. Nanao, S., Masuyama, H., Kasahara, S., and Takahashi, Y., "Effect of Node Churn on Frame Interval for Peer-to-Peer Video Streaming with Data-Block Synchronization Mechanism," Peer-to-Peer Networking and Applications, vol. 5, no. 3, pp. 244-256, 2012. 査読有, DOI:10.1007/s12083-011-0120-8
2. Senda, S., Masuyama, H., and Kasahara, S., "A Stochastic Fluid Model for On-Demand Peer-to-Peer Streaming Services," Numerical Algebra, Control and Optimization, vol. 1, no. 4, pp. 611-626, December 2011. 査読有, DOI:10.3934/naco.2011.1.611
3. Kuraya, K., Masuyama, H., and Kasahara, S., "Load Distribution Performance of Super-Node Based Peer-to-Peer Communication Networks: a Nonstationary Markov Chain Approach," Numerical Algebra, Control and Optimization, vol. 1, no. 4, pp. 593-610, December 2011. 査読有, DOI:10.3934/naco.2011.1.593
4. Tainaka, T., Masuyama, H., Kasahara, S., and Takahashi, Y., "Performance Analysis of Burst Transmission Mechanism for IEEE 802.11-Based

- Multi-Hop Wireless LANs," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 10, no. 9, pp. 2908-2917, September 2011. 査読有, DOI:10.1109/TWC.2011.071411.100593
5. Nanao, S., Masuyama, H., Kasahara, S., and Takahashi, Y., "Queueing Analysis of Data Block Synchronization Mechanism in Peer-to-Peer Based Video Streaming System," Journal of Industrial and Management Optimization, vol. 7, no. 3, pp. 699-716, August 2011. 査読有, DOI:10.3934/jimo.2011.7.697
  6. Mitsumura, M., Masuyama, H., Kasahara, S., and Takahashi, Y., "Buffer-Overflow and Starvation Probabilities for Video Streaming Services with Application-Layer Rate-Control Mechanism," The 6th International Conference on Queueing Theory and Network Applications (QTNA 2011), Seoul, Korea, pp. 134-138, 2011. 査読有, DOI:10.1145/2021216.2021236
  7. Kiriwara, K., Masuyama, H., Kasahara, S., and Takahashi, Y., "FEC Recovery Performance for Video Streaming Services Based on H.264/SVC," Recent Advances on Video Coding, Ed. Javier Del Ser Lorente, InTech, ISBN 978-953-307-181-7, pp. 259-272, July 2011. 査読有, <http://www.intechopen.com/download/pdf/14640>
  8. Hernandez-Cons, N., Kasahara, S., and Takahashi, Y., "Dynamic Hello/Timeout Timer Adjustment in Routing Protocols for Reducing Overhead in MANETs," Computer Communications, vol. 33, no. 15, pp. 1864-1878, 15 September 2010. 査読有, DOI:10.1016/j.comcom.2010.06.011
  9. Kawanami, H., Masuyama, H., Tachibana, T., Kasahara, S., and Takahashi, Y., "Burst Transmission Algorithm to Improve Packet Level Performance in Contention-Free Slotted OBS Networks," Photonic Network Communications, vol. 20, no. 1, pp. 54-63, August 2010. 査読有, DOI:10.1007/s11107-010-0245-3
  10. Nanao, S., Masuyama, H., Kasahara, S., and Takahashi, Y., "Performance Analysis of Data Block Synchronization Mechanism in Coolstreaming," The 5th International Conference on Queueing Theory and Network Applications (QTNA 2010), Beijing, China, July 24-26, 2010. 査読有, DOI:10.1145/1837856.1837865
  11. Yazane, T., Masuyama, H., Kasahara, S., and Takahashi, Y., "End-to-End Throughput Analysis of Multihop Wireless Networks with Network Coding," IEEE ICC 2010, Cape Town, Republic of South Africa, May 23-27, 2010. 査読有, DOI:10.1109/ICC.2010.5501915
  12. Kato, K., Masuyama, H., Kasahara, S., and Takahashi, Y., "Analysis of Consecutive Block-Loss for Streaming Services," IEEE ICC 2010, Cape Town, Republic of South Africa, May 23-27, 2010. 査読有, DOI:10.1109/ICC.2010.5502127
  13. Kuraya, K., Masuyama, H., Kasahara, S., and Takahashi, Y., "Decentralized User Information Management Systems for Peer-to-Peer Communication Networks: An Approach by Nonstationary Peer-Population Process," Ubiquitous Computing and Communication Journal, Special Issue CSNDSP 2008, vol. CSNDSP, September 2009. 査読有, URL:[http://www.ubicc.org/journal\\_detail.aspx?id=31](http://www.ubicc.org/journal_detail.aspx?id=31)
  14. Wakuda, K., Kasahara, S., Takahashi, Y., Kure, Y., and Itakura, E., "A Packet Scheduling Algorithm for Max-Min Fairness in Multihop Wireless LANs," Computer Communications, vol. 32, nos. 13-14, pp. 1437-1444, 17 August 2009. 査読有, DOI:10.1016/j.comcom.2009.04.004
  15. Tainaka, T., Masuyama, H., Kasahara, S., and Takahashi, Y., "A Markovian Approach to Per-Flow Throughput Unfairness in IEEE 802.11 Multihop Wireless Networks," Journal of Industrial and Management Optimization, vol. 5, no. 3, pp. 493-510, August 2009. 査読有, DOI:10.3934/jimo.2009.5.493
  16. Heristy, A., Masuyama, H., Kasahara, S., and Takahashi, Y., "User-Search Time Analysis for Hierarchical Peer-to-Peer Overlay Networks with Time-Dependent User-Population Process," The Fourth International Conference on Queueing Theory and Network Applications (QTNA 2009), Singapore, July 29-31, 2009. 査読有,

[学会発表] (計 26 件)

1. 川村亮太, 笠原正治, 高橋豊, "P2P ライブストリーミングにおける遅延と帯域を考慮した動的オーバーレイポロジ再構築法の検討," 電子情報通信学会技術研究報告 (NS2011-245), pp. 369-374, 2012.3.8-9.
2. 三村麻梨乃, 増山博之, 笠原正治, 高橋豊, "ストリーミング動画配信機構におけるアプリケーション層レベルのフィードバック型転送レート制御の解析的検討," 電子情報通信学会技術研究報告 (NS2011-215), pp. 203-208, 2012.3.8-9.
3. 小西康晴, 増山博之, 笠原正治, 高橋豊, "Performance analysis of dynamic spectrum handoff scheme with variable bandwidth demand of secondary users for cognitive radio networks," 待ち行列シンポジウム「確率モデルとその応用」, pp. 41-50, 2012.1.18-20.
4. 小西 康晴, 増山 博之, 笠原 正治, 高橋豊, "コグニティブ無線通信網における二次通信利用帯域幅の変動を考慮した動的周波数割当方式の性能解析," 電子情報通信学会技術研究報告 (NS2011-128, RCS2011-241), pp. 55-60, 2011.12.15.
5. 三村麻梨乃, 増山博之, 笠原正治, 高橋豊, "動画ストリーミング配信におけるパケットレベルフィードバック制御の映像品質改善効果," インターネット技術第 163 委員会 新世代ネットワーク構築のための基盤技術研究分科会ワークショップ(ITRC-NWGN 2011), みのたにグリーンスポーツホテル, 神戸市, p. 84, 2011.9.26-27.
6. 川村亮太, 笠原正治, 高橋豊, "動的オーバーレイ再構築機構を持つP2Pライブストリーミングシステムの提案," インターネット技術第 163 委員会 新世代ネットワーク構築のための基盤技術研究分科会ワークショップ(ITRC-NWGN 2011), みのたにグリーンスポーツホテル, 神戸市, pp. 4-6, 2011.9.26-27.
7. 小西 康晴, 増山 博之, 笠原 正治, 高橋豊, "コグニティブ無線通信システムにおける二次利用帯域幅を考慮した動的周波数割当方式の性能解析," 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2011 年度秋季研究発表会, アブストラクト集, pp. 224-225, 2011.9.16.
8. 七尾翔, 増山 博之, 笠原 正治, 高橋 豊, "Coolstreaming におけるデータブロック同期機構の性能解析 -ノードの参加離脱がビデオ品質に与える影響についての検討-", 電子情報通信学会技術研究報告 (NS2010-285), pp. 693-698, 2011.3.3-4.
9. 和田 仁志, 増山 博之, 笠原 正治, 高橋豊, "Analysis of frame-level delay in a GI+M/MSP/1 queue for video streaming services over wired-wireless networks," 待ち行列シンポジウム「確率モデルとその応用」, pp. 11-20, 2011.1.17-19.
10. 矢実 貴志, 増山 博之, 笠原 正治, 高橋豊, "End-to-end throughput analysis of network coding for multihop wireless networks with IEEE 802.11-based TXOP scheme," 待ち行列シンポジウム「確率モデルとその応用」, pp. 1-10, 2011.1.17-19.
11. 三村麻梨乃, 増山 博之, 笠原 正治, 高橋 豊, "状態依存の到着過程を持つ有限容量・単一サーバ待ち行列を用いたストリーミングデータ配信機構の解析," 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2010 年度秋季研究発表会, アブストラクト集, pp. 178-179, 2010.9.16-9.17.
12. 矢実貴志, 増山 博之, 笠原 正治, 高橋豊, "ネットワーク・コーディングを適用したマルチホップ無線ネットワークのスループット上限値解析とバースト転送方式との性能比較," インターネット技術第 163 委員会 新世代ネットワーク構築のための基盤技術研究分科会ワークショップ(ITRC-NWGN 2010), pp. 66-68, 2010.9.9-10.
13. 加藤耕太, 増山 博之, 笠原 正治, 高橋豊, "有線・無線環境での動画ストリーミング配信を対象としたブロックロス連続性の評価," インターネット技術第 163 委員会 新世代ネットワーク構築のための基盤技術研究分科会ワークショップ(ITRC-NWGN 2010), pp. 12-16, 2010.9.9-10.
14. 和田仁志, 増山 博之, 笠原 正治, 高橋豊, "ビデオストリーミングサービスにおけるフレームレベル離脱時間解析," インターネット技術第 163 委員会 新世代ネットワーク構築のための基盤技術研究分科会ワークショップ(ITRC-NWGN 2010), pp. 8-11, 2010.9.9-10.
15. 七尾翔, 増山 博之, 笠原 正治, 高橋 豊, "メッシュ型 P2P ビデオストリーミングにおけるバッファ同期機構の性能解析," インターネット技術第 163 委員会 新世代ネットワーク構築のための基盤技術研究分科会ワークショップ(ITRC-NWGN 2010), pp. 4-7, 2010.9.9-10.
16. 矢実 貴志, 増山 博之, 笠原 正治, 高橋

- 豊, "マルチホップ無線ネットワークにおけるネットワーク・コーディングとバースト転送方式の性能比較," 電子情報通信学会技術研究報告 (NS2010-62), pp.79-84, 2010.9.2-3.
17. 七尾 翔, 増山 博之, 笠原 正治, 高橋豊, "クールストリーミングにおける待時同期バッファ方式の性能解析 ~ サブストリーム 数がビデオ品質に与える効果の検討 ~," 電子情報通信学会技術研究報告 (NS2009-213), pp.291-296, 2010.3.4-5.
18. Nagashima, T., Kasahara, S., Takahashi, Y., Kobayashi, M., and Kamei, S., "Impact of Overlay Topology and Physical Layer Characteristics on Service Availability of P2P Streaming Services -Tree-Based and Mesh-Based Topology Cases-," 電子情報通信学会技術研究報告 (NS2009-210), pp.273-278, 2010.3.4-5.
19. 和田 仁志, 増山 博之, 笠原 正治, 高橋豊, "GI+M/MSP/1 待ち行列を用いた有線・無線環境ビデオストリーミングサービスのブロックレベル遅延解析," 電子情報通信学会技術研究報告 (NS2009-200), pp.217-222, 2010.3.4-5.
20. 田井中 智也, 増山 博之, 笠原 正治, 高橋豊, "IEEE802.11 準拠マルチホップ無線 LAN におけるバースト転送方式のスループット解析," 電子情報通信学会技術研究報告 (NS2009-199), pp.211-216, 2010.3.4-5.
21. 加藤 耕太, 増山 博之, 笠原 正治, 高橋豊, "Analysis of Consecutive Block-Loss for Streaming Services over Wired-Wireless Networks," 待ち行列シンポジウム「確率モデルとその応用」, pp.254-263, 2010.1.18-20.
22. 矢実 貴志, 増山 博之, 笠原 正治, 高橋豊, "Performance Analysis of End-to-End Throughput for Multihop Wireless Networks with Network Coding: A Three-Node Chain-Topology Case," 待ち行列シンポジウム「確率モデルとその応用」, pp.42-51, 2010.1.18-20.
23. 永島貴徳, 笠原正治, 高橋豊, 小林正裕, 亀井聡, "P2P ストリーミングサービスにおけるオーバーレイトポロジと物理レイヤ特性を考慮した可用性評価," インターネット技術第 163 委員会 新世代ネットワーク構築のための基盤技術研究分科会ワークショップ(ITRC-NWGN 2009), pp.97-98, 2009.9.24-25.
24. 加藤 耕太, 増山 博之, 笠原 正治, 高橋豊, "バックグラウンドトラフィックを考慮したブロックロスの連続性の評価,"

日本オペレーションズ・リサーチ学会 2009年度秋季研究発表会, アブストラクト集, pp.271-272, 2009.9.8-9.

25. 矢実 貴志, 増山 博之, 笠原 正治, 高橋豊, "マルチホップ無線ネットワークにおけるネットワーク・コーディングの性能解析-3 ノード直列トポロジにおけるスループット改善効果の検討-, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2009年度秋季研究発表会, アブストラクト集, pp.267-268, 2009.9.8-9.
26. 上田耕平, 増山博之, 笠原正治, 高橋豊, "GI+M/M/1 待ち行列による高速大容量ストリーミングサービスのフレームレベル遅延解析," 電子情報通信学会技術研究報告 (NS2009-2), pp.3-8, 2009.4.16-17.

[産業財産権]  
○出願状況 (計 1 件)

名称: ネットワーク構築システムと方法およびプログラムならびにデータ配信方法  
発明者: 亀井聡, 笠原正治, 高橋豊  
権利者: NTT, 京都大学  
種類: 特許  
番号: 特願 2009-199739, 特開 2011-055070  
出願年月日: 平成 21 年 8 月 31 日  
国内外の別: 国内

[その他]  
ホームページ等  
<http://infosys.sys.i.kyoto-u.ac.jp/~kasahara>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

笠原 正治 (KASAHARA SHOJI)  
京都大学・大学院情報学研究科・准教授  
研究者番号: 20263139

### (2) 研究分担者

該当無し

### (3) 連携研究者

増山 博之 (MASUYAMA HIROYUKI)  
京都大学・大学院情報学研究科・助教  
研究者番号: 60378833  
橋 拓至 (TACHIBANA TAKUJI)  
福井大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号: 20415847