

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 15 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22360153

研究課題名(和文) ネットワーク・アウェア・サービス指向型システム構成論に関する研究

研究課題名(英文) Modeling and performance analysis of network-aware and service-oriented systems

研究代表者

高橋 豊 (TAKAHASHI, YUTAKA)

京都大学・情報学研究科・教授

研究者番号：00135526

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000円、(間接経費) 4,260,000円

研究成果の概要(和文)：インターネットではさまざまなQoS環境下で、遅延耐性のあるコンテンツからビデオ会議・ストリーミングなどの実時間制約の厳しいコンテンツまで、多岐に亘るQoE基準を有するアプリケーションが多様なトラフィックを生成している。一方、ネットワーク基盤は未だ不安定であり、確固とした基盤を提供するには至っていない。このような不安定な基盤の上で良好なサービスを提供するには、ネットワークQoSを解析的に評価する統合化した情報システム構成論の確立が不可欠である。本研究では不安定なネットワークの上に安定なサービスを提供するための種々のモデル化手法と解析手法の構築に関して研究を遂行した。

研究成果の概要(英文)：In the Internet, a wide variety of traffic streams requiring application-specific QoE are transmitted over heterogeneous networks having diverse QoS. These traffic streams range from delay-tolerant content delivery to delay-sensitive applications such as video-conferences and streaming. Network infrastructure is, however, still unstable and cannot provide very reliable service. In order to keep these QoEs above satisfactory levels when designing and operating networks, it is crucial to develop a unified methodology for the performance relationship of QoS of networks and QoE of applications. From this point of view, we have obtained basic analytical results.

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：ネットワーク・LAN トラフィック ネットワーキング 性能評価 モデリング ワイヤレス・ネットワーク マルチホップ QoS

### 1. 研究開始当初の背景

インターネットではさまざまな QoS 環境下で、遅延耐性のあるコンテンツからビデオ会議・ストリーミングなどの実時間制約の厳しいコンテンツまで、多岐に亘る QoE 基準を有するアプリケーションが多様なトラフィックを生成している。一方、ネットワーク基盤は未だ不安定であり、確固とした基盤を提供するには至っていなかった。このような不安定な基盤の上で良好なサービスを提供するには、ネットワーク QoS を解析的に評価する統合化した情報システム構成論の確立が不可欠であった。

### 2. 研究の目的

不安定なネットワーク基盤上で、多様なアプリケーションへ良好なサービスを提供するには、時変するネットワーク QoS を観測し、アプリケーション側で経路選択・制御、さらにはトラフィック制御、動的符号化、再送制御などを統合化した情報システム構成論の確立が不可欠である。本研究では不安定なネットワークの上に安定なサービスを提供するためのモデル化手法と解析手法の構築を目指す。

### 3. 研究の方法

(1) サービス指向型システムにおいては、システム性能が各サービス品質に与える影響は平均だけでは見積もれず、分布を知る必要があり、高品質性を保証するためには裾分布が重要であり、その漸近特性解析を行った。

(2) コールセンターなどネットワークを介した大規模サービス集約型システムでは、発呼時に接続できないリクエストの再呼が自動発信されることが増え、この影響を考慮したモデル化手法を考察した。

(3) マルチホップ無線ネットワークにおけるホップ数に応じて急減するスループットを、ネットワーク・コーディングと送信機会の集約化で改善を図る。

(4) コグニティブ無線通信においては、スペクトラム・ハンドオフに際して他の回線の使用状況をセンシングする必要があり、これらの影響を統合化するモデル化手法を検討した。

(5) クラウド・サービスにおける大規模分散コンピューティングにおいては性能が劣化したノードが全体の処理効率を支配するが、この影響を補償する方法論を検討した。

### 4. 研究成果

(1) サービス指向型システムの基礎的数理モデルと性能解析

① サービス指向型システムにおいては、システム性能が各サービス品質に与える影響は平均だけでは見積もれず、分布を知る必要があり、高品質性を保証するためには裾分布が重要である。待ち行列理論における M/G/1 モデルはサービスシステムを数理的にモデル

化する際に広範囲に用いられる基本モデルであり、このモデルの系内容数の裾分布の漸近特性を解析した。

② コールセンター、コンタクトセンターはネットワークを介した大規模サービス集約型システムであり、問い合わせ、照会、注文などのトラフィック量に応じた最適ナリソース配置を決定する重要な問題であるが、発呼時に接続できないリクエストの再呼が容易になり、さらには自動化されたため、この影響を考慮したシステム構成論が喫緊の課題である。

このために、リトライ型待ち行列モデルで厳密に解析できる範囲を拡張し、さらに再呼の途中で諦めるユーザ行動を考慮したモデルを提案し、その性能解析手法を開発した。

(2) ストリーミング・サービスとネットワーク基盤

① ストリーミング・サービスにおいてはブロック廃棄が連続すると急激に画質に大きな影響を与えることが知られており、ネットワーク環境がこの連続性を如何に左右するかを解析的に解明した。

② Peer-to-peer 型のストリーミングで並列的にダウンロードを行うと、データブロック全体の整合を図るための同期待ちがシステム性能に大きな影響を与える。これを評価するためのトラフィック・モデルを提案し、その性能解析手法を開発した。解析を基に並列度と同期待ちの関係が明らかになった。

③ メッシュ型 P2P ビデオストリーミングでは、単一のビデオストリーミングをサブストリーム単位に分割し、データブロックの送信をサブストリーム単位で行うことで性能の向上が図れるが、クライアントノードではこれらサブストリームの同期を取る必要がある。本研究では、全てのサブストリームのデータブロックが揃い次第フォワードを行う待時同期方式に着目し、ノードのシステム参加、離脱がフレーム再構成に与える影響について理論検討を行った。

(3) マルチホップ無線ネットワークの QoS 改善と性能解析

① マルチ・ホップ無線 LAN におけるスループット向上の有効策としてネットワーク・コーディングが注目されている。その向上度を計るための基本的なモデルを提案し、性能解析を行った。数値結果を基に、end-to-end の最大スループットに関する知見を得た。

② マルチホップ無線ネットワークにおける TXOP 方式のモデル化と性能解析

IEEE 802.11 無線 LAN に準拠したマルチホップ無線ネットワークはネットワークの可用領域を容易に拡張可能であると近年注目されている。しかしスループットに関しては、MAC プロトコルにおける DCF 機能のために、大きく減じることが知られている。この対策として IEEE 802.11e では TXOP が採用されているが、本研究ではその性能改善の定量的評価を可能にするため、数理モデルを提案し、

性能解析を行った。

③マルチホップ無線ネットワークにおけるビーコンレス・ルーティング方式の提案と性能解析

マルチホップ無線ネットワークにおけるルーティング方式で、ビーコンを用いずに、受信ノードの地理的情報のみを活用する方式を提案し、その数理モデル化と性能解析を行った。

(4) コグニティブ無線通信システムの性能評価モデルと解析手法

①コグニティブ無線通信システムにおけるセカンダリ・ユーザの通信品質解析

コグニティブ無線通信システムにおいてはプライマリ・ユーザの帯域利用が開始されるとセカンダリ・ユーザを使用中の当該スペクトラムを開放し、他の空き帯域を探す必要がある、これはスペクトラム・ハンドオフと呼ばれている。スペクトラム・ハンドオフの頻度が高いと強制切断の可能性が高くなり、かつシステムの処理負荷が増大する。本研究では、セカンダリ・ユーザの通信成功確率、平均ハンドオフ回数、通信可能な平均データ伝送量、リンク継続確率を取り上げ、その導出を行った。数値計算実験では、プライマリ・ユーザおよびセカンダリ・ユーザのトラフィック量が各種性能評価量に与える影響を検討した。

②コグニティブ無線通信における協調型チャネルセンシング

コグニティブ無線通信においては、スペクトラム・ハンドオフに際して他の回線の使用状況を知る必要があり、各セカンダリ・ユーザが独立してセンシングするのは非効率的であり、即応性に欠けるため、これらユーザが協調してセンシングすることで、効率と精度を高めることが可能である。数理モデルに基づき、その性能解析を行い、最適なセンシング方式に関する検討を行った。

## 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19件)

① Tsuguhito Hirai, Hiroyuki Masuyama, Shoji Kasahara, Yutaka Takahashi, "Performance Analysis of Large-Scale Parallel-Distributed Processing with Backup Tasks for Cloud Computing," *Journal of Industrial and Management Optimization*, vol. 10, no. 1, pp. 113-129 (2014). DOI:10.3934/jimo.2014.10.113

② Haruki Katayama, Hiroyuki Masuyama, Shoji Kasahara and Yutaka Takahashi, "Effect of Spectrum Sensing Overhead on Performance for Cognitive Radio Networks with Channel Bonding," *Journal of Industrial and Management Optimization*, vol. 10, no. 1, pp. 21-40 (2014).

DOI:10.3934/jimo.2014.10.21

③ Tuan Phung-Duc, Wouter Rogiest, Yutaka Takahashi, Herwig Bruneel, "Retrial queues with balanced call blending: analysis of single-server and multiserver model," *Annals of Operations Research*, published online: 26 April 2014. DOI 10.1007/s10479-014-1598-2

④ Tuan Phung-Duc, Hiroyuki Masuyama, Shoji Kasahara and Yutaka Takahashi, "A Matrix Continued Fraction Approach to Multiserver Retrial Queues," *Annals of Operations Research*, vol. 202, no. 1, pp. 161-183 (2013). DOI:10.1007/s10479-011-0840-4

⑤ Yasuharu Konishi, Hiroyuki Masuyama, Shoji Kasahara, Yutaka Takahashi, "Performance Analysis of Dynamic Spectrum Handoff Scheme with Variable Bandwidth Demand of Secondary Users for Cognitive Radio Networks," *Wireless Networks*, vol. 19, no. 5, pp. 607-617 (2013). DOI: 10.1007/s11276-012-0488-2

⑥ K. Kato, H. Masuyama, S. Kasahara, and Y. Takahashi, "Block-Level Success and Loss Runs for Streaming Services over Wired-Wireless Networks," *Journal of the Operations Research Society of Japan*, vol. 56, no. 2, pp. 69-91 (2013). [http://www.orsj.or.jp/~archive/pdf/e\\_mag/Vol.56\\_2\\_069.pdf](http://www.orsj.or.jp/~archive/pdf/e_mag/Vol.56_2_069.pdf)

⑦ T. Yazane, H. Masuyama, S. Kasahara, and Y. Takahashi, "Effect of Network-Coding Overhead on End-to-End Throughput for Multihop Wireless Networks," *Performance Evaluation*, vol. 70, pp. 14-27 (2013). DOI: 10.1016/j.peva.2012.09.005

⑧ S. Nanao, H. Masuyama, S. Kasahara and Y. Takahashi, "Effect of Node Churn on Frame Interval for Peer-to-Peer Video Streaming with Data-Block Synchronization Mechanism," *Peer-to-Peer Networking and Applications*, published online, January 4 (2012). DOI:10.1007/s12083-011-0120-8

⑨ Tatsuaki Kimura, Hiroyuki Masuyama, and Yutaka Takahashi, "Heavy-traffic asymptotics for stationary GI/G/1-type Markov chains," *Operations Research Letters*, vol. 40, pp. 185-189 (2012). DOI:10.1016/j.orl.2012.01.001

⑩ Marino Mitsumura, Hiroyuki Masuyama, Shoji Kasahara and Yutaka Takahashi, "Effect of application-layer rate-control mechanism on video quality for streaming services," *Journal of Industrial and Management Optimization*, vol. 8, no. 4, pp. 807-819 (2012). DOI:10.3934/jimo.2012.8.807

⑪ Keiichi Endo, Yusuke Inoue, Yutaka

Takahashi, "Performance Modeling of Beaconless Forwarding Strategies in Multi-hop Wireless Networks," *Computer Communications*, vol. 35, no. 1, pp. 120-128 (2012). DOI:10.1016/j.comcom.2011.08.001

⑫ Sho Nanao, Hiroyuki Masuyama, Shoji Kasahara and Yutaka Takahashi, "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 (2011). DOI:10.3934/jimo.2011.7.697

⑬ Kenji Kirihara, Hiroyuki Masuyama, Shoji Kasahara and Yutaka Takahashi, "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 (2011).

⑭ Tomoya Tainaka, Hiroyuki Masuyama, Shoji Kasahara and Yutaka Takahashi, "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 (2011). DOI:10.1109/TWC.2011.071411.100593

⑮ Tuan Phung-Duc, Hiroyuki Masuyama, Shoji Kasahara and Yutaka Takahashi, "State-dependent M/M/c/c + r retrial queues with Bernoulli abandonment," *Journal of Industrial and Management Optimization (JIMO)*, vol. 6, no. 3, pp. 517-540 (2010). DOI:10.3934/jimo.2010.6.517

⑯ Hozumi Kawanami, Hiroyuki Masuyama, Takuji Tachibana, Shoji Kasahara and Yutaka Takahashi, "Burst Transmission Algorithm to Improve Packet Level Performance in Contention-Free Slotted OBS Networks," *Photonic Network Communications*, vol. 20, pp. 54-63 (2010).

⑰ Nelson Hernandez-Cons, Shoji Kasahara, Yutaka Takahashi, "Dynamic Hello/Timeout timer adjustment in routing protocols for reducing overhead in MANETs," *Computer Communications*, vol. 33, pp. 1864-1878 (2010). DOI:10.1016/j.comcom.2010.06.011

⑱ Tatsuaki Kimura, Kentaro Daikoku, Hiroyuki Masuyama and Yutaka Takahashi, "Light-Tailed Asymptotics of Stationary Tail Probability Vectors of Markov Chains of M/G/1 Type," *Stochastic Models*, vol. 26, no. 4, pp. 505-548 (2010). DOI:10.1080/15326349.2010.519661

① Kyosuke Hashimoto, Hiroyuki Masuyama, Shoji Kasahara and Yutaka Takahashi, "Effect of Deadline Time on Job Completion Time for Backup-Task Scheduling in Cloud Computing," *The 8th International Conference on Queueing Theory and Network Applications (QTNA2013)*, Taichung, Taiwan, pp. 23-29, 30 July - 2 August, 2013.

② Tsuguhito Hirai, Hiroyuki Masuyama, Shoji Kasahara and Yutaka Takahashi, "Effect of Backup Tasks on Response Time Performance for Cloud Computing," *The 7th International Conference on Queueing Theory and Network Applications (QTNA2012)*, Kyoto, Japan, Aug. 1-3, 2012.

③ Yasuharu Konishi, Hiroyuki Masuyama, Shoji Kasahara and Yutaka Takahashi, "Performance Analysis of Dynamic Spectrum Access with Channel Bonding for Cognitive Radio Networks," *The 7th International Conference on Queueing Theory and Network Applications (QTNA2012)*, Kyoto, Japan, Aug. 1-3, 2012.

④ Haruki Katayama, Hiroyuki Masuyama, Shoji Kasahara and Yutaka Takahashi, "Effect of Spectrum Sensing Overhead on Throughput Performance for Cognitive Radio Networks with Channel Bonding," *The 7th International Conference on Queueing Theory and Network Applications (QTNA2012)*, Kyoto, Japan, Aug. 1-3, 2012.

⑤ Kosuke Hashizume, Tuan Phung-Duc, Shoji Kasahara and Yutaka Takahashi, "Queueing Analysis of Internet-Based Call Centers with Interactive Voice Response and Redial," *Proc. of 2012 IEEE 17th International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD)*, pp. 373-377 (2012). DOI:10.1109/CAMAD.2012.6335371

⑥ Marino Mitsumura, Hiroyuki Masuyama, Shoji Kasahara and Yutaka Takahashi, "Buffer-Overflow and Starvation Probabilities for Video Streaming Services with Application-Layer Rate-Control Mechanism," *In Proc. The 6th International Conference on Queueing Theory and Network Applications (QTNA2011)*, B. Kim, H.W. Lee, G.U. Hwang and Y.W. Shin (eds.), Seoul, Korea, July 23-26, 2011, pp. 134-138. DOI:10.1145/2021216.2021236

⑦ Yasuharu Konishi, Hiroyuki Masuyama, Shoji Kasahara, Yutaka Takahashi, "Performance Analysis of Dynamic Spectrum Handoff Scheme for Cognitive Radio Networks: A Case of Fixed Number of Subbands Allocation," *The 19th Triennial Conference of the International*

Federation of Operational Research Societies (IFORS), July 10-15, 2011, Melbourne, Australia.

⑧ Marino Mitsumura, Hiroyuki Masuyama, Shoji Kasahara, Yutaka Takahashi, "Performance Analysis of Application-layer Rate-control Mechanism for Video Streaming using a Single-server Queue with a State-dependent Arrival Process," The 19th Triennial Conference of the International Federation of Operational Research Societies (IFORS), July 10-15, 2011, Melbourne, Australia

⑨ Kenzo Hara, Hiroyuki Masuyama, Yutaka Takahashi, "Light-Tailed Asymptotics of the Joint Queue Length Distribution of a Multiclass M/G/1 Queue with the FCFS Service Discipline," The 19th Triennial Conference of the International Federation of Operational Research Societies (IFORS), July 10-15, 2011, Melbourne, Australia

⑩ Tsuguhito Hirai, Hiroyuki Masuyama, Shoji Kasahara, Yutaka Takahashi, "Performance Analysis of Large-Scale Parallel-Distributed Processing System in Cloud Computing," The 19th Triennial Conference of the International Federation of Operational Research Societies (IFORS), July 10-15, 2011, Melbourne, Australia.

⑪ Tuan Phung-Duc, Yutaka Takahashi, "An Efficient Numerical Method for Multi-server Retrial Queues with abandonments," The 19th Triennial Conference of the International Federation of Operational Research Societies (IFORS), Melbourne, Australia, July 10-15, 2011.

⑫ Yusuke Inoue, Keiichi Endo and Yutaka Takahashi, "A distance-aware forwarding protocol for beaconless communication in mobile ad hoc networks and its performance," International Wireless Internet Conference, March 1-3, 2010, Singapore.

⑬ Takashi Yazane, Hiroyuki Masuyama, Shoji Kasahara, and Yutaka Takahashi, "End-to-End Throughput Analysis of Multihop Wireless Networks with Network Coding," IEEE ICC2010, Cape Town, Republic of South Africa, May 23-27, 2010. doi:10.1109/ICC.2010.5501915

⑭ Kouta Kato, Hiroyuki Masuyama, Shoji Kasahara, and Yutaka Takahashi, "Analysis of Consecutive Block-Loss for Streaming Services," IEEE ICC2010, Cape Town, Republic of South Africa, May 23-27, 2010. doi:10.1109/ICC.2010.5502127

⑮ Tuan Phung-Duc, Hiroyuki Masuyama,

Shoji Kasahara and Yutaka Takahashi, "A Simple Algorithm for the Rate Matrices of Level-Dependent QBD Processes," QTNA2010 5th International Conference on Queueing Theory and Network Applications, July 24-26, 2010, Beijing, China. doi:10.1145/1837856.1837864

⑯ Sho Nanao, Hiroyuki Masuyama, Shoji Kasahara and Yutaka Takahashi, "Performance Analysis of Data Block Synchronization Mechanism in Coolstreaming," QTNA2010 5th International Conference on Queueing Theory and Network Applications, July 24-26, 2010, Beijing, China. doi:10.1145/1837856.1837865

[図書] (計3件)

① Wuyi Yue, Yutaka Takahashi, Editors for the Special Issue for the Sixth Conference on Queueing Theory and Network Applications, Journal of Industrial and Management Optimization (JIMO), vol. 8, no. 4, November(2012).

② Wuyi Yue, Yutaka Takahashi, Editors for the Special Issue for the Fifth Conference on Queueing Theory and Network Applications, Journal of Industrial and Management Optimization (JIMO), vol. 7, no. 3, August(2011).

③ Wuyi Yue, Yutaka Takahashi, Hideaki Takagi, Editors for the Special Issue for the Fourth Conference on Queueing Theory and Network Applications, Journal of Industrial and Management Optimization (JIMO), vol. 6, no. 3, August(2010).

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
出願年月日 :  
国内外の別 :

○取得状況 (計0件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
取得年月日 :  
国内外の別 :

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 豊 (TAKAHASHI, Yutaka)  
京都大学・大学院情報学研究科・教授  
研究者番号：00135526

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

笠原 正治 (KASAHARA, Shoji)  
奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・教授  
研究者番号：20263139

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