

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 21 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12152

研究課題名(和文) ネットワーク・イノベーションに向けたSDNに関する研究

研究課題名(英文) Performance Analysis of SDN towards Network Innovation

研究代表者

高橋 豊 (Takahashi, Yutaka)

京都大学・情報学研究科・名誉教授

研究者番号：00135526

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：OpenFlowスイッチにおけるパケット転送処理およびコントローラにおける経路問い合わせ処理に際して発生する遅延分布および滞留パケット数分布などを明らかにすべく、スイッチとコントローラをサーバとする数理モデル化を行い、理論的性能解析を行った。モデル化にあたっては経路制御がフロー単位で行われることを考慮し、その特徴を表現可能な数理モデルの開発に留意した。解析結果を基に平均転送遅延、パケット廃棄確率、スループットなどの性能評価量を導出した。数値計算実験を行い、スイッチおよびコントローラの処理速度と性能評価量の関係およびコントローラに接続されるスイッチ数へのスケーラビリティに関する知見を得た。

研究成果の概要(英文)：We developed mathematical models to evaluate the performance of OpenFlow switches controlled by a controller and considered the delay distribution and the distributions of the number of packets in a switch and a controller. In the model, we took into consideration the fact that routing control is carried out in terms of flows. We derived the average transmission delay, packet loss probability and throughput. Through numerical results, we clarified the relationship between processing rates of switch/controller and performance measures and had some findings on the scalability of the number of switches per a controller.

研究分野：情報システム

キーワード：待ち行列 トラヒック・モデル 解析評価 ネットワーク 情報システム

1. 研究開始当初の背景

2004年にSamuel J. Palmisanoが取り纏め、アメリカ大統領に提出したPalmisano Report “Innovate America”を機に、サービス産業の効率化と利活用がイノベーションへの糸口であるとの認識が広まり、サービスサイエンスの重要性が高まりつつある。これに対応し、ネットワークにおいても、これまでのインターネットに代表される「オープン」なシステム連携から、今後はクラウドに代表される「Cocreative」なサービス連携を目指した研究および実装が重要になる。これにより、センサーを始めとする情報収集機器、取得したビッグデータを統括管理するデータセンター、およびデータを活用する企業・研究機関の3者間のより密な「サービス連携」が可能になり、新たなイノベーションの創出に繋がると期待される。このためには関連するサーバ群が、そこで実行されるアプリケーションが要求する様々なQoSに適切に対応することが求められる。しかし現状のネットワークにおいてはサーバ管理とネットワーク管理は「オープン化」のために、分離されており、多元的なQoSを柔軟に確保することは難しい。このことは従来のネットワーク機器は、近隣の機器との自律的なデータ転送を基本として「オープン」な環境を構築しており、ネットワーク構成が複雑化し、サーバ側でトラヒックの伝送経路を管理・制御するのが困難であることに起因している。

2. 研究の目的

Palmisano Reportにも記されているように、イノベーションを誘発する上でサービスサイエンスが果たす役割が大きく、さらには「サービス連携」には情報利活用のための柔軟で効率的なネットワーク基盤が重要である。この構築に向けては、サーバ側で当該トラヒック・フローを一元管理可能な実装の容易性と柔軟性を実現するネットワーク仮想化が重要である。この仮想化のためにはサーバとネットワークの統合的な管理が不可欠であり、この解決策となるべく期待されているのがSoftware Defined Network(SDN)である。本研究ではイノベーション創出に不可欠なネットワーク基盤実現に向けてSDNの果たす役割に鑑み、その構成論を数理的アプローチにより開発するのが目的であった。

3. 研究の方法

本研究ではSDN設計運用のためのシステム構成論を構築する。そのためにデータ転送を司るデータプレーンと各スイッチでのトラヒック・フローを制御するコントロールプレーンのインタフェースとして代表的な標準化案であるOpenFlowを実装したネットワークの数理解析モデルを構築し、待ち行列理論を用いた性能解析手法を開発することになった。さらに実機で構成した実ネットワークで

各種シナリオのもとトラヒック・フローを送受信し、性能評価量を実計測することで、数理解析モデルの妥当性、解析結果の正当性を検証することになった。

4. 研究成果

ネットワーク仮想化を目指すSDNでは、パケット転送処理について、経路制御を司るコントロールプレーンと転送処理を司るデータプレーンとに機能分離を行う。これまではスイッチ・ルータのベンダー毎に異なる仕様が実装され、新規機器の導入・更新、アプリケーションに応じた適切なQoS保証の設定などには大きな人的コストと時間を要してきた。これを回避するために経路制御を行うコントローラと転送処理を行うスイッチに分割し、前者は標準化を図り、後者は単純処理だけで済むコモディティ化を進めている。これらコントローラとスイッチを連携させる代表的なインターフェースとしてOpenFlowがある。OpenFlowは標準化が進んでおり、実装プログラムも公開されているが、これを実装した場合の各スイッチにおける基本的なシステム性能および広範囲に及ぶネットワークへの適用可能性に関しては十分な検討がなされていなかった。

本研究ではOpenFlowスイッチにおけるパケット転送処理およびコントローラにおける経路問い合わせ処理に際して発生する遅延分布および滞留パケット数分布などの確率的挙動を明らかにすべく、スイッチとコントローラをサーバとする数理解析モデルを行い、理論的性能解析を行った。モデル化にあたっては経路制御がフロー単位で行われることを考慮し、その特徴を表現可能な数理解析モデルの開発に留意した。解析結果を基に平均転送遅延、パケット廃棄確率、スループットなどの性能評価量を導出した。数値計算実験を行い、スイッチおよびコントローラの処理速度と性能評価量の関係およびコントローラに接続されるスイッチ数へのスケラビリティに関する知見を得た。またSDNにおいてはフロー単位での制御が可能になるため、少数パケットからなるマイス的フロー、多数パケットからなるエレファント的フローなどフローの属性による性能比較も数理解析的なアプローチで行った。

さらにコントローラにトラヒック分類機能である静的分類と統計的分類を負荷した場合に関して新たに考察し、数理解析および解析手法を開発した。

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7件)

Kyosuke Hashimoto, Hiroyuki Masuyama, Shoji Kasahara and Yutaka Takahashi, Effect of deadline time on job

completion time for backup-task scheduling in cloud computing, Journal of Industrial and Management Optimization, 査読有, vol. 11, 2015, 867-886

Tuan Phung-Duc, Wouter Rogiest, Yutaka Takahashi, Herwig Bruneel, Retrieval queues with balanced call blending: analysis of single-server and multiserver model, Annals of Operations Research, 査読有, 239, 2016, 429-449.

小笠原翔太、原田諭、門田和也、高谷幸宏、高橋豊、ハイブリッド通信方式を有するAMIの数理モデルと性能解析, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, Vol.J99-D, No. 7, 2016, 353-362

Tsuguhito Hirai, Hiroyuki Masuyama, Shoji Kasahara and Yutaka Takahashi, Performance analysis of task replication in large-scale parallel-distributed processing: an extreme value theory approach, Journal of the Operations Research Society of Japan, 査読有, vol. 59, no. 2, 2016, 174-194.

Masataka Kato, Hiroyuki Masuyama, Shoji Kasahara and Yutaka Takahashi, Effect of energy-saving server scheduling on power consumption for large-scale data centers, Journal of Industrial and Management Optimization, 査読有, vol. 12, no. 2, 2016, 667-685.

Shunsuke Matsuzawa, Satoru Harada, Kazuya Monden, Yukihiro Takatani, and Yutaka Takahashi, Effect of Mobility of Smart Meters on Performance of Advanced Metering Infrastructure, Journal of Industrial and Management Optimization 査読有, (印刷中)

Tatsuaki Kimura, Hiroyuki Masuyama, and Yutaka Takahashi, Light-tailed asymptotics of the stationary distributions of GI/G/1-type Markov chains, Journal of Industrial and Management Optimization 査読有, (印刷中)

[学会発表](計15件)

Shunsuke Matsuzawa, Satoru Harada, Kazuya Monden, Yukihiro Takatani, and Yutaka Takahashi, Mathematical Model and Performance Evaluation of AMI Applied to Mobile Environment, Proc. of the 10th International Conference on Queueing Theory and Network Applications (QTNA2015), 査読有, Hanoi and Ha Long, Vietnam, August 17-20 (2015).

Yuki Goto, Hiroyuki Masuyama, Bryan Ng, Winston K.G. Seah and Yutaka Takahashi, Queueing Analysis of Software Defined Network with Realistic OpenFlow based Switch Model, 査読有, IEEE

MASCOTS 2016, September 19-21, Imperial College, London, UK(2016)

Shota Ogasawara and Yutaka Takahashi, Performance Analysis of Traffic Classification in an OpenFlow Switch, 査読有, Proc. of International Conference on Cloudification of the Internet of Things, November 23-25, 2016, Paris.(2016)

Shunsuke Matsuzawa and Yutaka Takahashi, Performance Analysis of Advanced Metering Infrastructure with Multihop Hybrid Communication System, 査読有, Proc. of the 11th International Conference on Queueing Theory and Network Applications (QTNA2016), December 13 – 15, 2016, Wellington, New Zealand. (2016)

Hiroki Morii and Yutaka Takahashi, Performance Analysis of Server Operation with Block Hiring Policy in Cloud Services, 査読有, Proc. of the 11th International Conference on Queueing Theory and Network Applications (QTNA2016), December 13 – 15, 2016, Wellington, New Zealand.(2016)

境谷 秀作, 増山 博之, 高橋 豊, 反射型マルコフ変調ランダムウォークに対するレベル増分切断の誤差評価, 2015年度確率モデルシンポジウム (Symposium on Stochastic Models 2015), pp. 86-95, 多摩永山情報教育センター, 2016/01/21-23.

勝又 洋介, 増山 博之, 高橋 豊, 有限レベルM/G/1型マルコフ連鎖の劣幾何的収束性, 2015年度確率モデルシンポジウム (Symposium on Stochastic Models 2015), pp. 96-103, 多摩永山情報教育センター, 2016/01/21-23.

木村 達明, 増山 博之, 高橋 豊, Heavy-traffic limits of the moments of the stationary distribution of the GI/G/1-type Markov chain, 2015年度確率モデルシンポジウム (Symposium on Stochastic Models 2015), pp. 104-112, 多摩永山情報教育センター, 2016/01/21-23.

平井 嗣人, 増山 博之, 笠原 正治, 高橋 豊, Optimal Number of Checkpoints for Parallel-Distributed Processing in Cloud Computing, 2015年度確率モデルシンポジウム (Symposium on Stochastic Models 2015), pp. 149-158, 多摩永山情報教育センター, 2016/01/21-23.

勝又 洋介, 増山 博之, 高橋 豊, Geometric convergence of finite-level M/G/1-type Markov chains, 2016年度確率モデルシンポジウム (Symposium on Stochastic Models 2016), pp. 109-118, 東京理科大 森戸記念館, 2017/01/19-21.

木村 達明, 増山 博之, 高橋 豊, Revisiting the heavy-traffic asymptotics of the GI/G/1-type Markov chain: a

complete proof of the asymptotic formula for the stationary distribution, 2016 年度確率モデルシンポジウム (Symposium on Stochastic Models 2016), pp. 143-148, 東京理科大 森戸記念館, 2017/01/19-21.

佐久間 大, 小林 正弘, 増山 博之, An arrival-time distribution for the equilibrium mean waiting time of a discrete-time single-server queue with acceptance period and Poissonian population of customers, 2016 年度確率モデルシンポジウム (Symposium on Stochastic Models 2016), pp. 157-161, 東京理科大 森戸記念館, 2017/01/19-21.

矢島萌子, フン・ドック トゥアン, 増山 博之, BMAP/PH/ 待ち行列の安定条件, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2016 年秋季研究発表会, アブストラクト集, pp. 252-253, 山形大学, 2016/09/14-16.

後藤 祐希, 増山 博之, Bryan Ng, Winston K. G. Seah, 高橋 豊, OpenFlow スイッチモデルの待ち行列理論を用いた性能解析, 電子情報通信学会技術研究報告 (NS2016-43), pp. 85-90, 北海道大学, 2016/06/23-24.

増山 博之, ブロック構造化マルコフ連鎖の切断誤差評価と摂動解析, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 不確実性環境下の意思決定モデリング研究部会, 常翔学園大阪センター, 2016/06/11.

〔図書〕(計1件)

Tien Do, Yutaka Takahashi, Wuyi Yue, Viet-Ha Nguyen(editors), Springer, Queueing Theory and Network Applications, Lecture Notes in Advances in Intelligent Systems and Computing, 2015, 178

〔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・名誉教授
研究者番号：00135526

(2) 研究分担者

(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・准教授
研究者番号：60378823

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

フندوقク トゥアン(Phung-Duc Tuan)
筑波大学大学院情報工学研究科・助教
研究者番号：20633465

(4) 研究協力者

()