

令和元年6月12日現在

機関番号：34504

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H02815

研究課題名(和文)大規模情報指向ネットワークのためのトランスポート層プロトコル

研究課題名(英文)Transport Protocol for Large-Scale Information-Centric Networking

研究代表者

大崎 博之(Ohsaki, Hiroyuki)

関西学院大学・理工学部・教授

研究者番号：00294166

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,100,000円

研究成果の概要(和文)：近年、従来のTCP/IPネットワークのような、情報を転送するホストを主体としたネットワークではなく、転送されるデータを主体としたネットワーク(情報指向ネットワーク)が注目を浴びている。本研究では、大規模な情報指向ネットワークのためのトランスポート層プロトコル設計論を確立し、効率的なトランスポート層プロトコルを実現することを目指して研究を実施した。その結果、AIMD型ウィンドウフロー制御方式におけるフローレベルのダイナミクスを流体近似法によってモデル化した。また、確率的なコンテンツ要求パケット集約機構や高速なパケット損失検出機構を考案し、トランスポート層プロトコルの効率化を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでの情報指向ネットワークの研究は、そのほとんどがOSI階層モデルにおける第3層(ネットワーク層)に留まっており、第4層(トランスポート層)をどう実現すれば良いかは、設計論の欠如も原因となり停滞していた。本研究では、大規模な情報指向ネットワークにおける、トランスポート層の挙動も含めたフローレベルのダイナミクスを遅延微分方程式によって記述した。これにより、トランスポート層を含めた大規模情報指向ネットワークの特性分析やプロトコル設計が可能となった。

研究成果の概要(英文)：In recent years, information-centric networking, whose first-class objects are contents transferred in the network, rather than hosts sending/receiving data from other hosts as in host-centric networking, has been actively studied. The primary objectives of our research are the establishment of design methodology of transport protocols and the development of efficient transport protocol for large-scale information-centric networking. The main contributions of our research includes the development of flow-level fluid model describing the dynamics of an AIMD-based window flow control as well as the efficient transport protocol with our probabilistic content packet aggregation and our fast packet loss detection mechanism.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：ネットワークアーキテクチャ 情報指向ネットワーク 大規模ネットワーク ネットワークモデル化

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、従来の TCP/IP ネットワークのような、情報を転送するホストを主体としたネットワーク (ホスト指向ネットワーク) ではなく、転送されるデータを主体としたネットワーク (情報指向ネットワーク) が注目を浴びている。情報指向ネットワークは、未来のインターネットアーキテクチャとして、米国を中心に活発に研究が行なわれている。特に、CCN (Content-Centric Networking) や NDN (Named Data Networking) と呼ばれる情報指向ネットワークアーキテクチャが有望視されており、通信プロトコルの策定やソフトウェア実装が精力的に進められている。

その一方、情報指向ネットワークは、エンドホスト間に仮想回線を提供するという従来のホスト指向ネットワークとは本質的に異なるアーキテクチャを採用している。このため、我々を含め情報指向ネットワークの研究者らは、TCP/IP ネットワークの研究で培ってきた経験則がそのまま利用できないという困難に直面している。

その結果、これまでの情報指向ネットワークの研究は、そのほとんどが OSI 階層モデルにおける第 3 層 (ネットワーク層) に留まっている。具体的には、CCN や NDN において、パケットレベルのネットワーク高速化・高効率化・高信頼化の研究は行われているが、第 4 層 (トランスポート層) をどう実現すれば良いかは、設計論が欠如しているため停滞しているのが現状である。

2. 研究の目的

本研究課題では、大規模な情報指向ネットワークのためのトランスポート層プロトコル設計論を確立し、効率的なトランスポート層プロトコルの実現を目指す。そのために 3 つの研究課題 (1) 流体近似法を用いたフローダイナミクスの記述、(2) トランスポート層プロトコルの設計、(3) 設計したプロトコルの妥当性および有効性の検証に取り組む。

3. 研究の方法

まず、大規模な CCN ネットワークを対象とし、パケット (チャンク) のストリームであるフローのダイナミクスを流体近似モデルによって記述する。実際には離散的に転送されるパケットの流れを、連続的なフローとして近似することによってミリ秒単位のフローダイナミクスを表現する遅延微分方程式を構築する。

また、構築したフローレベルの流体近似モデルを利用することにより、CCN のための効率的なトランスポート層プロトコルを設計する。配送遅延、スループット、損失率、可用性、安定性、過渡特性、公平性の観点から良好な特性を有するプロトコルの実現を目指す。

設計したトランスポート層プロトコルの妥当性および有効性を、数学的解析およびシミュレーション実験によって明らかにする。我々がこれまでに開発した大規模ネットワークシミュレータ FSIM (Fluid-based SIMulator) および CCN シミュレータ PCCNSIM (Perl-based CCN SIMulator) を拡張することにより、設計したトランスポート層プロトコルの有効性を明らかにする。

4. 研究成果

まず、情報指向ネットワークとして、現在最も検討が進んでいる CCN (Content-Centric Networking) を対象とし、CCN における単純な AIMD 型ウィンドウフロー制御方式におけるフローレベルのダイナミクスを流体近似法によってモデル化した。TCP/IP とは異なり、情報指向ネットワークである CCN は、(1) 一対一ではなく多対一の通信である、(2) 仮想回線型ではなく要求-応答型の通信である、(3) 送信側主導ではなく受信側主導の通信である、(4) エンド-エンド通信ではなく経路上のルータがキャッシングを行う、という性質を有している。このため従来の AIMD 型ウィンドウフロー制御方式のモデル化手法をそのまま利用できない。本研究では、上記の (1)~(3) に対応できる新しいモデル化手法を考案し、実際には離散的に転送されるパケットの流れを、連続的なフローとして近似することによってミリ秒単位のフローダイナミクスを表現する遅延微分方程式を構築した。

さらに、ネットワーク中のルータにおけるコンテンツ要求パケットの集約や、ボトルネックリンクにおけるバッファの挙動も考慮したネットワークモデル化手法を考案した。また、トランスポート層プロトコルの性能向上のために、ネットワーク中のルータにおいて確率的にコンテンツ要求パケットを集約する手法 (PIPA; Probabilistic Interest Packet Aggregation) を考案するとともに、その有効性を数学的解析によって明らかにした。また、CCN のトランスポート層において、要求パケットもしくはデータパケットの損失の有無や、パケット損失の発生箇所を推

定する手法 (Interest ACK) を設計し、その有効性をシミュレーション実験によって明らかにした。また、中継ルータにおいて意図的にパケット中継を遅延させる手法 DPF (Delayed Packet Forwarding) を考案するとともに、その有効性を数学的解析およびシミュレーション実験によって明らかにした。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 31 件) (すべて査読有)

- [1] R. Nakamura and H. Ohsaki, "A fast packet loss detection mechanism for content-centric networking," IEICE Transactions on Communications, Special Section on Enhancing Information Centric Networking Technologies Towards Real-world Infrastructure, Sept. 2019 (to appear).
- [2] R. Nakamura and H. Ohsaki, "On scaling property of information-centric networking," IEICE Transactions on Communications, Special Section on Enhancing Information Centric Networking Technologies Towards Real-world Infrastructure, Sept. 2019 (to appear).
- [3] R. Maegawa, D. Matsui, Y. Yamasaki, and H. Ohsaki, "A discrete model of IEEE 1588-2008 precision time protocol with clock servo using PI controller," in Proceedings of the 7th IEEE International Workshop on Modeling and Verifying Distributed Applications(MVDA 2019), July 2019.
- [4] K. Yamashita, R. Nakamura, and H. Ohsaki, "On the predictability of network robustness from spectral measures," in Proceedings of the 7th IEEE International Workshop on Architecture, Design, Deployment and Management of Networks & Applications (ADMNET 2019), July 2019.
- [5] R. Matsuo, R. Nakamura, and H. Ohsaki, "A study on sparse representation of network topology with K-SVD algorithm," in Proceedings of the 43rd IEEE Signature Conference on Computers, Software, and Applications (COMPSAC 2019), July 2019.
- [6] N. Kawabata, Y. Yamasaki, and H. Ohsaki, "On the effectiveness of position-based routing in delay/disruption-tolerant networking," in Proceedings of the 7th IEEE International Workshop on Architecture, Design, Deployment and Management of Networks & Applications (ADMNET 2019), July 2019.
- [7] K. Katayama and H. Ohsaki, "Fluid-based Modeling of Large-Scale IEEE 802.15.4 Wireless Sensor Networks, " in Proceedings of the 7th IEEE International Workshop on Modeling and Verifying Distributed Applications(MVDA 2019), July 2019.
- [8] N. Kawabata, Y. Yamasaki, and H. Ohsaki, "Modeling restrained epidemic routing on complex networks," in Proceedings of the 43rd IEEE Signature Conference on Computers, Software, and Applications (COMPSAC 2019), July 2019.
- [9] Y. Yamasaki and H. Ohsaki, "On placement of base stations for cut-through links in epidemic broadcast," in Proceedings of the 10th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC 2019), Jan. 2019.
- [10] Y. Yasuda, R. Nakamura, and H. Ohsaki, "A probabilistic interest packet aggregation for content-centric networking," in Proceedings of the 2nd IEEE International Workshop on Future Internet Technologies (IWFIT 2018), pp. 783-788, July 2018.
- [11] C. Minamiguchi, N. Kawabata, R. Nakamura, and H. Ohsaki, "A study on comparative analysis of end-to-end routing and opportunistic routing," in Proceedings of the 42nd IEEE Signature Conference on Computers, Software, and Applications (Student Research Symposium) (COMPSAC 2018), pp. 955-958, July 2018.
- [12] K. Yamashita, R. Nakamura, and H. Ohsaki, "A study on robustness of complex networks against random node removals," in Proceedings of the 42nd IEEE Signature Conference on Computers, Software, and Applications (Student Research Symposium) (COMPSAC 2018), pp. 966-969, July 2018.
- [13] Y. Yasuda, R. Nakamura, and H. Ohsaki, "A study on the impact of delayed packet forwarding in content-centric networking," Proceedings of the 42nd IEEE Signature Conference on Computers, Software, and Applications (Student Research Symposium) (COMPSAC 2018), pp. 970-972, July 2018.
- [14] R. Matsuo, R. Nakamura, and H. Ohsaki, "A study on sparse-modeling based approach for betweenness centrality estimation," in Proceedings of the 42nd IEEE Signature Conference on Computers, Software, and Applications (Student Research Symposium) (COMPSAC 2018), pp. 973-976, July 2018.
- [15] R. Matsuo, R. Nakamura, and H. Ohsaki, "A solution for minimum link flow problem with sparse modeling," in Proceedings of the 42nd IEEE Signature Conference on Computers, Software, and Applications (COMPSAC 2018), pp. 920-925, July 2018.
- [16] S. Nishikawa, D. Matsui, Y. Yamasaki, and H. Ohsaki, "Analysis of message delivery delay in large-scale geographic DTN routing," in Proceedings of the 32nd IEEE International Conference on Information Networking (ICOIN 2018), pp. 235-240, Jan. 2018.

- [17] R. Nakamura and H. Ohsaki, "Performance analysis of content-centric networking on an arbitrary network topology," IEICE Transactions on Communications, Special Section on Internet Technologies to Accelerate Smart Society, pp. 24-34, Jan. 2018.
- [18] Y. Sakumoto and H. Ohsaki, "First meeting time formula of two random walkers toward understanding epidemic information dissemination," in Proceedings of the 41st IEEE Signature Conference on Computers, Software, and Applications (COMPSAC 2017) (Fast Abstract), July 2017.
- [19] T. Yabuuchi, R. Nakamura, and H. Ohsaki, "A fluid-based model of transport protocol in content-centric networking," in Proceedings of the 41st IEEE Signature Conference on Computers, Software, and Applications (Student Research Symposium) (COMPSAC 2017), pp. 690-693, July 2017.
- [20] T. Yabuuchi, R. Nakamura, and H. Ohsaki, "Interest ACK: A fast packet loss detection mechanism for content-centric networking," in Proceedings of the 5th International Workshop on Architecture, Design, Deployment and Management of Networks and Applications (ADMNET 2017), pp. 13-18, July 2017.
- [21] N. Kawabata, Y. Yamasaki, and H. Ohsaki, "On message delivery delay of epidemic DTN routing with broadcasting ACKs," in Proceedings of the 41st IEEE Signature Conference on Computers, Software, and Applications (COMPSAC 2017) (Student Research Symposium), pp. 701-704, July 2017.
- [22] R. Nakamura and H. Ohsaki, "On the effect of scale-free structure of network topology on performance of content-centric networking," in Proceedings of the 41st IEEE Signature Conference on Computers, Software, and Applications (Student Research Symposium) (COMPSAC 2017), pp. 686-689, July 2017.
- [23] D. Matsui, R. Hagihara, Y. Yamasaki, and H. Ohsaki, "Analysis of geographic DTN routing under random walk mobility model," in Proceedings of the 41st IEEE Signature Conference on Computers, Software, and Applications (COMPSAC 2017), pp. 538-547, July 2017.
- [24] S. Agemura, K. Katayama, and H. Ohsaki, "On the effect of wireless communication range heterogeneity on WSN performance," in Proceedings of the 31st IEEE International Conference on Information Networking (ICOIN 2017), pp. 35-40, Jan. 2017.
- [25] R. Nakamura and H. Ohsaki, "Performance evaluation and improvement of large-scale content-centric networking," in Proceedings of the 31st IEEE International Conference on Information Networking (ICOIN 2017), pp. 103-108, Jan. 2017.
- [26] R. Hagihara, Y. Yamasaki, and H. Ohsaki, "On delivery control for floating content sharing with epidemic broadcasting," in Proceedings of the 14th Annual IEEE Consumer Communication & Networking Conference (CCNC 2017), Jan. 2017.
- [27] Y. Sakumoto and H. Ohsaki, "Fluid-based analysis for understanding TCP performance on scale-free structure," Journal of Information Processing, vol. 24, pp. 660-668, July 2016.
- [28] D. Matsui, Y. Yamasaki, and H. Ohsaki, "Analysis of message delivery delay in geographic DTN routing," in Proceedings of the 40th IEEE Signature Conference on Computers, Software, and Applications (Doctoral Symposium) (COMPSAC 2016), pp. 496-497, June 2016.
- [29] R. Nakamura and H. Ohsaki, "Performance comparison of shortest-path routing and optimal detour routing in content-centric networking," in Proceedings of the 40th IEEE Signature Conference on Computers, Software, and Applications (Doctoral Symposium) (COMPSAC 2016), pp. 494-495, June 2016.
- [30] H. Ohsaki and Y. Yamasaki, "On the impact of cut-through links in epidemic broadcasting," in Proceedings of the 4th IEEE International Workshop on Architecture, Design, Deployment and Management of Networks and Applications (ADMNET 2016), pp. 10-14, June 2016.
- [31] R. Nakamura and H. Ohsaki, "Performance analysis of CCN on arbitrary network topology," in Proceedings of IEEE Communications Society Communications Quality and Reliability Workshop (CQR 2016), pp. 1-6, May 2016.

〔学会発表〕(計 69 件)

- [1] 南口 宙太, 川端 奈津子, 中村 遼, 大崎 博之, "情報指向遅延耐性ネットワークにおける平均コンテンツ配送遅延に関する一検討," 電子情報通信学会 総合大会, 2019.

他 68 件

〔図書〕(計 1 件)

- [1] 大崎 博之, "インターネット, 7 つの疑問," 共立出版, Feb. 2018 (144 ページ).

〔産業財産権〕

- 出願状況（計 0 件）
- 取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ: <http://www.lsnl.jp/>

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。