

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 11 日現在

機関番号：34504

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25280030

研究課題名(和文)大規模コンテンツセントリックネットワークのモデル化・解析・制御

研究課題名(英文)Modeling, Analysis, and Control of Large-Scale Content-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) 9,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、大規模コンテンツセントリックネットワークにおける情報拡散のダイナミクスを分析するための数学的解析手法を構築するとともに、解析結果を応用することにより、大規模コンテンツセントリックネットワークを実現した。具体的には、(1) 流体近似手法を用いた大規模コンテンツセントリックネットワークのモデル化および(2) 制御理論を用いた大規模コンテンツセントリックネットワークのダイナミクス分析、に取り組んだ。

研究成果の概要(英文)：In this research, we developed an analytic framework for analyzing information diffusion dynamics in a large-scale content-centric networking. Using our analytic framework, we have realized a large-scale content-centric networking. Specifically, this research tackled the two main challenges: (1) fluid-based modeling of a large-scale content-centric networking, and (2) control-theoretic dynamical analysis of a large-scale content-centric networking.

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 コンテンツセントリックネットワーク 情報拡散 モデル化 制御

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 (ホストセントリックネットワーク) ではなく、CCN や NDN に代表される、転送されるデータを主体としたネットワーク (コンテンツセントリックネットワーク) が注目を浴びている。情報通信技術の急速な進展や、膨大な数のノードから構成されるユビキタスネットワークの進展により、大規模なコンテンツセントリックネットワークの登場への期待が高まっている。コンテンツセントリックネットワークでは、データの蓄積・複製・転送・廃棄は不可分であり、コンテンツセントリックネットワークは一種の情報拡散系と考えることができる。コンテンツセントリックネットワークの効率的な制御を実現するためには、大規模コンテンツセントリックネットワーク上での情報拡散(生成・蓄積・複製・転送・廃棄) の特性を理解することがきわめて重要である。

従来、通信ネットワークの解析に広く用いられてきた待ち行列理論は、比較的小規模なネットワークの定常特性解析には非常に有用であるが、大規模系のダイナミクス分析への適用は困難である。一方、物理学や生物学の分野を中心として、大規模・複雑ネットワークの構造解析や、浸透現象・感染現象メカニズムの解析が始まっている。通信ネットワークにおいても一部情報拡散の解析が始まっている。しかし、これらは非常に単純な通信モデルを仮定した定常特性解析であり、大規模コンテンツセントリックネットワークの解析には適用できない。

2. 研究の目的

本研究課題では、大規模コンテンツセントリックネットワークにおける情報拡散のダイナミクスを分析するための数学的解析手法を構築するとともに、解析結果を応用することにより、コントロール可能な大規模コンテンツセントリックネットワークを実現する。具体的には、以下の 2 つの研究課題に取り組む。

(1) 流体近似手法を用いた大規模コンテンツセントリックネットワークのモデル化

本研究代表者がこれまで構築してきた、流体近似法による大規模ネットワーク解析手法を発展させることにより、大規模コンテンツセントリックネットワークにおける情報拡散 (生成・蓄積・複製・転送・廃棄) のダイナミクスをモデル化する。

(2) 制御理論を用いた大規模コンテンツセントリックネットワークのダイナミクス分析

上記の解析モデルを用いて、コンテンツセントリックネットワーク上へのデータ配置機構、コンテンツルーティング機構、ユーザからのコンテンツ要求パターン、ルータのキャッシュ置き換え機構、ネットワークのトポロジなどが、大規模コンテンツセントリックネットワークにおける情報拡散の速度・効率性・安定性・ロバスト性・信頼性に与える影響を数理的に明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 流体近似手法を用いた大規模情報拡散ダイナミクスのモデル化

まず、本研究代表者がこれまで構築してきた、流体近似法による大規模ネットワーク解析手法を発展させることにより、大規模コンテンツセントリックネットワークにおける情報拡散のダイナミクスをモデル化する。具体的には、コンテンツセントリックネットワークとして CCN (Content Centric Networking) を、アプリケーションとして多数の不均一なユーザに対するコンテンツ配信を想定する。

(2) 大規模コンテンツセントリックネットワークのダイナミクス分析

大規模コンテンツセントリックネットワークにおける情報拡散ダイナミクスのモデルを用いて、CCN 上へのデータ配置機構、CCN のコンテンツルーティング機構、ユーザからのコンテンツ要求パターン、CCN ルータのキャッシュ配置機構、CCN ネットワークのトポロジなどが、大規模コンテンツセントリックネットワークにおける情報拡散の速度・効率性・安定性・ロバスト性・信頼性に与える影響を明らかにする。

4. 研究成果

まず、大規模コンテンツセントリックネットワークにおけるコンテンツ配送を数学的にモデル化し、効率性の性能指標として配送遅延および通信量を、可用性の性能指標としてコンテンツ配送率を導出した。また、CCN が有効となる適用領域を明らかにするため、IP ネットワークにおける効率性および可用性もあわせて導出した。また、ケーススタディとして、スマートグリッドにおけるスマートモニタから管理センタへのデータ収集を想定し、通信インフラを IP および CCN で実現した場合の効率性および可用性を解析した。その結果、IP と比較して、CCN によって通信のオーバーヘッドは増加するが、ネットワーク全体の可用性が向上することを明らかにした。

また、コンテンツセントリックネットワーク

における閉域通信を可能とする仮想コンテンツセントリックネットワークにおける CCN ルータのキャッシュ性能を解析した。CCN ルータのコンテンツストア (バッファ) を仮想ネットワーク単位で分割した場合、すべての仮想ネットワークで共有した場合、およびそれらのハイブリッドとした場合におけるキャッシュのヒット率を導出した。その結果、仮想ネットワーク内におけるコンテンツ要求の偏りによって適切にコンテンツストアを割当てることが望ましいことを明らかにした。

さらに、多段キャッシュネットワークにおけるキャッシュのヒット率を解析的に求める近似アルゴリズム MCA (Multi-Cache Approximation) を利用することにより、任意のネットワークトポロジにおける CCN の性能を解析した。複数のルータと、複数のリポジトリから構成される CCN ネットワークを対象とし、エンティティがコンテンツを要求してからコンテンツを取得するまでに要する時間 (コンテンツ配送遅延)、コンテンツ取得のスループット、ルータやリポジトリが故障する場合にエンティティがコンテンツを正しく取得できる確率 (可用性) を解析的に求めた。さらに、いくつかの数値例により、ネットワークのトポロジが CCN の有効性に与える影響を調査した。その結果、CCN では、リポジトリに近いルータほど、コンテンツのキャッシングによる性能向上の恩恵 (コンテンツ配送遅延の短縮および可用性の向上) を受けることがわかった。

これらに加えて、CCN のオープンソースソフトウェア実装である CCNx のネットワーク規模に対するスケーラビリティを実験によって調査した。単一の物理計算機上でさまざまな規模の仮想ネットワークを構築し、コンテンツを保有するリポジトリに対して、コンテンツ取得要求を繰り返し発行した。性能指標として、コンテンツ配送の総スループット、ネットワーク中でのパケット廃棄率、コンテンツ配送遅延をそれぞれ計測することにより、CCNx のネットワーク規模に対するスケーラビリティを分析した。その結果、実験に使用した物理計算機上では、CCN ルータ数が 20 ~ 30 を超えると通信性能が低下すること、また、CCN ルータにおける Data パケットの署名計算が CPU 時間の約 29 % を占めることなどがわかった。さらに、Data パケットの署名計算をハードウェアにオフロードすることで、CCNx のネットワーク規模に対するスケーラビリティがどの程度改善されるかを調査した。擬似オフローディングによってハードウェアオフローディングの効果を推定した結果、Data パケットの署名計算をオフロードすることにより通信性能はわずかに改善されるが、ネットワーク規模に対するスケーラビリティはほとんど変化し

ないことがわかった。

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 13 件)

以下、すべて査読有。

1. B.-M. Goi, B. Ng, Z. K. Chong, H. Ohsaki, and H. T. Ewe, "Probability of complete decoding of random codes for short messages," *Electronics Letters*, vol. 51, pp. 251-253, Feb. 2015. doi: 10.1049/el.2014.3977.
2. K. Tsukamoto, M. Ohtani, Y. Koizumi, H. Ohsaki, K. Hato, J. Murayama, and M. Imase, "Virtual content-centric networking," *Journal of Networks (JNW)*, vol. 9, pp. 807-815, Apr. 2014.
3. S. Tsugawa, H. Ohsaki, Y. Itoh, N. Ono, K. Kagawa, and K. Takashima, "Dynamic social network analysis with heterogeneous sensors in ambient environment," *Social Networking*, vol. 3, pp. 9-18, Jan. 2014.
4. T. Yagi, J. Murayama, S. Tsugawa, H. Ohsaki, and M. Murata, "Analysis of blacklist update frequency for countering malware attacks on websites," *IEICE Transactions on Communications*, vol. E97-B, pp. 76-86, Jan. 2014.
5. K. Tsukamoto, Y. Koizumi, H. Ohsaki, K. Hato, and J. Murayama, "Inferring relevant blocks on hyperlinked Web page based on block-to-block similarity," *International Journal of Knowledge and Web Intelligence (IJKWI)*, vol. 4, no. 4, pp. 279-299, 2013.
6. S. Tsugawa and H. Ohsaki, "Effectiveness of link prediction for face-to-face behavioral networks," *PLoS ONE*, vol. 8, pp. e81727:1-e81727:14, Dec. 2013.
7. T. Yagi, J. Murayama, T. Hariu, and H. Ohsaki, "Evaluations and analysis of malware prevention methods on websites," *IEICE Transactions on Communications*, pp. 3091-3100, Dec. 2013.
8. K. Tsukamoto, K. Ohsugi, H. Ohsaki, T. Hasegawa, and M. Murata, "Cache performance analysis of virtualized router on virtual content centric networks," *International Journal of Next Generation Networks (IJNGN)*, vol. 5, Dec. 2013.
9. T. Nishijima, N. Yokoi, Y. Nakamoto,

- and H. Ohsaki, "Estimation of performance improvement derived from TCP/IP offload engine with software emulation," *International Journal of Computers & Technology*, vol. 12, pp. 3117-3130, Dec. 2013.
10. Y. Sakumoto, H. Ohsaki, and M. Imase, "Design and implementation of flow-level simulator FSIM for performance evaluation of large scale networks," *International Journal of Computer Science and Telecommunications*, vol. 4, pp. 1-10, Aug. 2013.
 11. Z.-K. Chong, B.-M. Goi, H. Ohsaki, B. C.-K. Ng, and H.-T. Ewe, "Stepping-random code: A rateless erasure code for short-length messages," *IEICE Transactions on Communications, Special Section on Internet Architectures, Protocols, and Management Methods that Enable Sustainable Development*, vol. E96-B, pp. 1764-1771, July 2013.
 12. Y. Sakumoto, H. Ohsaki, and M. Imase, "A method for accelerating flow-level network simulation with low-pass filtering of fluid models," *Journal of Information Processing*, vol. 21, pp. 481-489, July 2013.
 13. T. Nishijima, H. Ohsaki, and M. Imase, "Automatic parallelism tuning mechanism for heterogeneous IP-SAN protocols in long-fat networks," *Journal of Information Processing*, vol. 21, pp. 423-432, July 2013.
- in Proceedings of the IEEE Signature Conference on Computers, Software, and Applications (Student Research Symposium) (COMPSAC 2015), July 2015. (台中 (台湾), 2015 年 7 月 1~5 日)
4. H. Ohsaki, Y. Nakamoto, N. Yokoi, and H. Moribe, "Performance comparison of IP and CCN as a communication infrastructure for smartgrid," in Proceedings of the 2nd IEEE International Workshop on BigData Management for the Internet of Things (BioT 2015), July 2015. (台中 (台湾), 2015 年 7 月 1~5 日)
 5. Y. Hashimoto and H. Ohsaki, "On estimating message diffusion dynamics in epidemic broadcasting," in Proceedings of the 3rd International Workshop on Architecture, Design, Deployment and Management of Networks and Applications (ADMNET 2015), July 2015. (台中 (台湾), 2015 年 7 月 1~5 日)
 6. Y. Sakumoto and H. Ohsaki, "On the impact of scale-free structure on end-to-end TCP performance using fluid-based analysis," in Proceedings of the IEEE Signature Conference on Computers, Software, and Applications (COMPSAC 2015) (Fast Abstract), July 2015. (台中 (台湾), 2015 年 7 月 1~5 日)
 7. K. Tsutsumi, H. Suzuki, and H. Ohsaki, "A distributed flow control with backward propagation," in Proceedings of the IEEE Signature Conference on Computers, Software, and Applications (COMPSAC 2015), July 2015. (台中 (台湾), 2015 年 7 月 1~5 日)
 8. S. Tsugawa, Y. Kikuchi, F. Kishino, K. Nakajima, Y. Itoh, and H. Ohsaki, "Recognizing depression from Twitter activity," in Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2015), Apr. 2015. (ソウル (韓国), 2015 年 4 月 18~23 日)
 9. S. Tsugawa and H. Ohsaki, "Analysis of the robustness of degree centrality against random errors in graphs," in Proceedings of the 6th Workshop on Complex Networks (CompleNet 2015), Mar. 2015. (ニューヨーク (米国), 2015 年 3 月 25~27 日)
 10. S. Agemura and H. Ohsaki, "Exploratory performance analysis of microbot swarm in three-dimensional field," in Proceedings of the IEEE Signature

[学会発表](計 18 件)

1. S. Mihara, S. Tsugawa, and H. Ohsaki, "Influence maximization problem for unknown social networks," in Proceedings of the 2015 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining 2015, Aug. 2015. (パリ (フランス), 2015 年 8 月 25~28 日)
2. R. Nakamura and H. Ohsaki, "Performance evaluation of an open-source implementation of content-centric networking," in Proceedings of the IEEE Signature Conference on Computers, Software, and Applications (Student Research Symposium) (COMPSAC 2015), July 2015. (台中 (台湾), 2015 年 7 月 1~5 日)
3. M. Seki, K. Ogura, Y. Yamasaki, and H. Ohsaki, "Performance comparison of geographic DTN routing algorithms,"

- Conference on Computers, Software, and Applications (Doctralsymposium) (COMPSAC 2014), July 2014. (ヴェステロース (スウェーデン), 2014年7月21~25日)
11. K. Tsutsumi, H. Suzuki, and H. Ohsaki, "A distributed flow control with backward propagation: Algorithm and preliminary performance evaluation," in Proceedings of the IEEE Signature Conference on Computers, Software, and Applications (Doctralsymposium) (COMPSAC2014), July 2014. (ヴェステロース (スウェーデン), 2014年7月21~25日)
 12. S. Tsugawa and H. Ohsaki, "Emergence of fractals in social networks: Analysis of community structure and interaction locality," in Proceedings of the 38th Annual IEEE International Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC 2014), July 2014. (ヴェステロース (スウェーデン), 2014年7月21~25日)
 13. R. Ishiyama, K. Tsukamoto, and H. Ohsaki, "Selective cache information diffusion in content-centric networking," Technical Report of IEICE (IA2013-34), Nov. 2013. (ソウル (韓国), 2013年10月10~11日)
 14. Ancel, K. Baba, J. Cisonni, Y. Fujiso, P. Goncalves, M. Imbert, K. Koyamada, K. Nozaki, H. Ohsaki, A.-C. Orgerie, X. Pelorson, B. Raffin, N. Sakamoto, E. Sakane, S. Wada, S. Shimojo, A. van Hirtum, P. Neyron, and I. Assenmacher, "Petaflow -- an example of communication and computational technologies with social impact," Proceedings of the 4th IEEE International Workshop on High-Speed Network and Computing Environment (HSNCE 2013), July 2013. (京都テルサ (京都府・京都市), 2013年7月22~26日)
 15. Y. Nakai, D. Perrin, H. Ohsaki, and R. Walshe, "Performance evaluation of cloud-based parallel computing," in Proceedings of the 3rd IEEE International Workshop on Complex Information Flows, July 2013. (京都テルサ (京都府・京都市), 2013年7月26日)
 16. M. Ohtani, K. Tsukamoto, Y. Koizumi, H. Ohsaki, K. Hato, J. Murayama, and M. Imase, "VCCN: virtual content-centric networking for realizing group-based communication," in Proceedings of the

IEEE International Conference on Communications (ICC 2013), June 2013. (ブタペスト (ハンガリー), 2013年6月9~13日)

17. K. Watabe and H. Ohsaki, "The effect of locality of node mobility on epidemic broadcast in DTN," in Proceedings of the 6th Joint IFIP Wireless & Mobile Networking Conference (WMNC 2013), Apr. 2013. (ドバイ (UAE), 2013年4月23~25日)
18. K. Matsuda, K. Watabe, and H. Ohsaki, "An epidemic broadcast mechanism in DTN utilizing contact-duration distribution," in Proceedings of the 6th Joint IFIP Wireless & Mobile Networking Conference (WMNC 2013), Apr. 2013. (ドバイ (UAE), 2013年4月23~25日)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況 (計0件)
取得状況 (計0件)

〔その他〕
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大崎 博之 (Hiroyuki Ohsaki)

関西学院大学・理工学部・教授

研究者番号 : 00294166