

令和 6 年 6 月 16 日現在

機関番号：82636  
研究種目：若手研究  
研究期間：2022～2023  
課題番号：22K17888  
研究課題名（和文）ネットワークサービス提供基盤の民主化に向けた網内分散処理におけるトラフィック制御

研究課題名（英文）Traffic Control Schemes in Decentralized In-Network Computing toward Democratization of Network Service Platform

研究代表者  
速水 祐作（Hayamizu, Yusaku）  
国立研究開発法人情報通信研究機構・ネットワーク研究所・研究員

研究者番号：00868820  
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、分散環境に親和性の高い情報指向ネットワーク（ICN: Information-Centric Networking）と、分散型という共通項を持つ分散台帳技術を融合させ、全く新しい分散型ネットワークサービス提供基盤の形成を目指す。ICNを用いたネットワーク内処理を実現するためのシステム基盤の土台を構築するため、ICNを用いたネットワーク内処理の実現に必要なICN実験用ソフトウェアの設計に注力し、マイクロサービス技術であるDockerコンテナを利用したICNルータ機能を開発した。加えて、ネットワーク内に分散配置された複数機能を発見・利用するための経路制御を提案した。

#### 研究成果の学術的意義や社会的意義

従来研究では、ICNを用いたネットワーク内コンピューティングの研究は多く存在するが、それらの多くは、既存のルーティングプロトコルを利用する前提で検討されている。本研究では、ユーザが求める計算処理が複数機能を必要とする、いわゆる、機能チェイニング（Function Chaining）も対象とし、機能の組み合わせから成る最短経路を発見する必要があるため、経路選択問題としてより複雑化する課題に取り組むという点で、学術的創造性が高い。また、Dockerなどのマイクロサービス技術を用いて実装・デプロイメントまで視野に入れた実機評価も行なっている点で学術的・社会的意義がある。

研究成果の概要（英文）：Information-Centric Networking (ICN) has a high affinity for distributed environments, and thus it can be combined with a distributed ledger technology, which is also a decentralized system architecture. This study aims to propose a completely new platform for providing distributed network services. To build the platform for in-network computing, we focused on designing base functions of an ICN software necessary to realize ICN-based in-network computing, and developed ICN router functions using the Docker container, which is a famous micro-services technology. In addition, we proposed a routing method for discovering multiple functions distributed in the network.

研究分野：コンピュータネットワーク

キーワード：情報指向ネットワーク トラフィック制御 ネットワーク内処理 ネットワークサービスプラットフォーム ブロックチェーン

## 1. 研究開始当初の背景

GAFA に代表されるデジタル・プラットフォーマーの中央集権制により、ユーザのプライバシーが侵害される事態が発生しており、インターネットの民主化(権力の分散化)の必要性が叫ばれている。インターネットの標準化団体である IETF/IRTF では DINRG (Decentralized Internet Infrastructure Research Group) が既に発足しており、政経界のみならず、科学技術分野においても「民主的なインターネット」の重要性が認識されつつある。

一方で、ネットワーク機能仮想化技術や、コンテナ, Docker, Kubernetes に代表されるマイクロサービス技術が盛んに研究されており、エッジコンピューティング等、クラウド資源が網内に拡散され、従来の集中型クラウドサービスの提供形態ではなく、ネットワーク内において柔軟にサービス提供を図る分散化技術が活発に議論されている。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、分散環境に親和性の高い情報指向ネットワーク (ICN) と、分散型という共通項を持つ Blockchain 技術を融合させ、全く新たな分散型ネットワークサービス提供基盤の形成を目指す。具体的には、ICN 網内処理を実現するためのシステム基盤の土台を構築するため、A) データ処理機能を発見する経路制御を提案し、B) 発見した機能の負荷を考慮したトラフィック分散転送制御による拡張を行うことである。本研究により、将来的なネットワークサービス提供基盤の民主化に向け、サービス遅延の短縮やトラフィック削減、スケーラビリティ向上が期待できる。結果、最終的に新しい時代の分散社会モデルに適合した民主的・中立的なネットワークシステムの実現に貢献することが目標である。

## 3. 研究の方法

上述の研究課題に関して、以下の研究方法で研究を進めた。

- (1) ICN ネットワーク機能デプロイメント用マイクロサービス技術を研究開発し、ICN をインターネットインフラ上に容易に展開・制御可能な技術を設計・開発した。この基盤技術により、機能を分散配置する際の要素技術を確立することを目指す。
- (2) マルチキャスト機能のデプロイメントに関する研究  
上記デプロイメント技術の有効性を検証するため、ICN の最も効果のあるネットワーク内機能の一つであるマルチキャストをネットワーク内に展開することで、トラフィックを大幅に低減できることを示した。
- (3) 複数機能を発見する経路制御に関する研究について、ユーザとデータ、function を繋ぐ経路の発見手法を考案し、経路制御アルゴリズムの正当性を実証した。また、無線環境への応用についても検討を行った。

評価方法としては、研究代表者により既に開発済みの ICN シミュレータによる基礎評価に加え、情報通信研究機構(以下、NICT)が公開する ICN 通信用ソフトウェア (Cefore) による実機評価も行った。

## 4. 研究成果

### (1) ICN ネットワーク機能デプロイメント用マイクロサービス技術

本研究を遂行する上で最も重要な技術の一つが ICN ネットワーク内処理を実現するためのシステム基盤の基本機能である。これを実現・構築するため、ICN とエッジコンピューティング技術を融合させ、ICN が具備する有用なネットワーク機能を既存のインターネットインフラストラクチャ(クラウド・エッジコンピューティング基盤)上にデプロイするためのマイクロサービス技術を設計・開発した。具体的にはマイクロサービス技術として代表的な Docker とオープンソースの ICN 通信ソフトウェアである Cefore を組み合わせ、インターネット環境に迅速にデプロイ可能なネットワーク内コンピューティングのためのフレームワークを提案した(図1参照)。本研究成果について、ACM における情報指向ネットワーク技術に関するトップカンファレンス (ACM ICN 2022) において、プロポーザル型(査読付き)チュートリアル<sup>1</sup>の提案が採択され、Cefore をインターネット上に迅速・容易にデプロイするための方法について、half-day チュートリアルを行った。

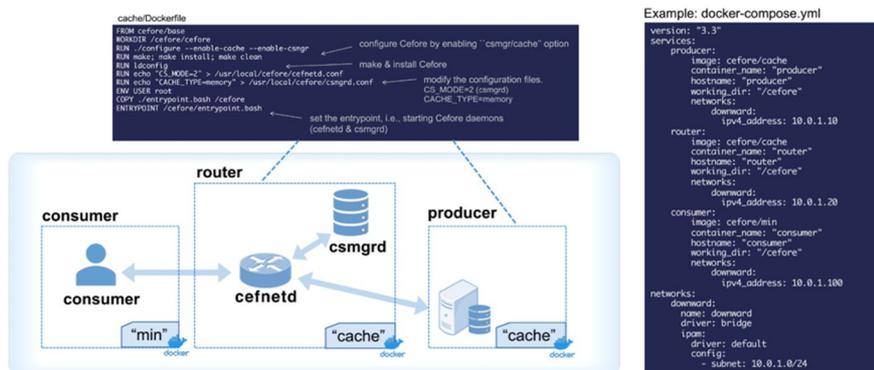


図 1 マイクロサービスを利用した ICN 機能デプロイメント機構 ([1]より引用)

[1] **Yusaku Hayamizu**, Atsushi Ooka, Kazuhisa Matsuzono, and Hitoshi Asaeda, "[Tutorial] CCNx-based Cloud-Native Function: Networking and Applications," *The 9th ACM Conference on Information-Centric Networking (ICN 2022)*, Osaka (Hybrid), September 19-21, 2022.  
<https://conferences.sigcomm.org/acm-icn/2022/tutorial-cefore.html>

### (2) ユーザ QoE を考慮したキャッシュ制御技術

ICN ネットワーク機能デプロイメント用マイクロサービス技術の応用先として、YouTube などのビデオオンデマンド型動画配信アプリケーションを対象に、ユーザの体感品質である Quality of Experience (QoE) を向上させるコントローラベースのキャッシュ制御機能を提案した。QoE に悪影響を与える不要なキャッシュを削除することで、ユーザは安定した高画質の動画再生が可能になる (図 2 参照)。本成果は、IEEE の通信系トップカンファレンスである IEEE INFOCOM の併催ワークショップにおいて口頭発表を行った。

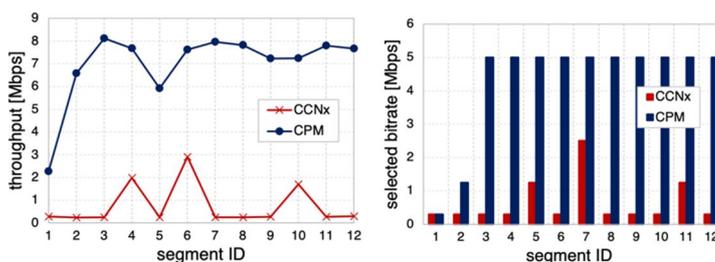


図 2 提案手法 (CPM) により安定して高画質の動画再生が可能 ([2]より引用)

[2] **Yusaku Hayamizu**, Atsushi Ooka, Kazuhisa Matsuzono, and Hitoshi Asaeda, "Controller-Assisted Adaptive Video Streaming Experimented in Cloud-Native ICN Platform," in Proc. 2023 IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM 2023) Workshop on Intelligent Cloud Computing and Networking (ICCN), New York, May 17-20, 2023.

### (3) マルチキャスト機能のデプロイメントに関する研究

ライブ配信に関する動画配信アプリケーションに関する研究にも着手し、大規模マルチキャストライブ配信などのアプリケーションを対象に、当該マイクロサービス技術を用いたマルチキャストサービスのデプロイメントに関する研究に発展させた。提案技術により、トラフィック量に応じて迅速に ICN 機能をアイランド型でトラフィックの集約可能点に展開することで、4K 画質の大規模マルチキャストをインターネット上に容易に展開するための仕組みを開発した (図 3 参照)。評価では、既存手法と比較して大幅にトラフィック量を低減できることを示し、その研究成果を国際会議 ICNC2024 において口頭発表を行った。

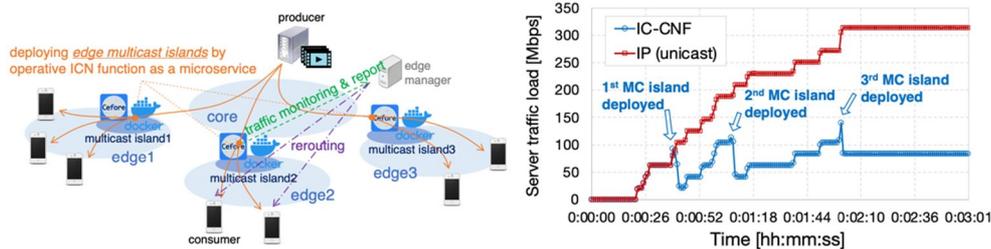


図 3 Cefore/Docker を用いたマルチキャストサービスのデプロイメントプラットフォームとトラフィック削減効果の性能評価 ([3]より引用)

[3] Yusaku Hayamizu, and Hitoshi Asaeda, "Multicast Service Deployment using Information Centric Cloud-Native Network Functions," in Proc. 2024 IEEE International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC 2024), Big Island, Hawaii, USA, February 19--22, 2024.

(4) 複数機能を発見する経路制御に関する研究

ユーザとデータ, function を繋ぐ経路の発見手法として, フラッディングによる最適解の全探索があるが, 先述の通りオーバーヘッド・スケーラビリティの面で実用的とは言えない. そこで本研究は, 発見した経路情報の再利用等によりトラフィック広告負荷を低減する手法を検討した. 性能評価では, 無線環境特有のノードの移動量に応じて最適な経路を発見できることを示し, 経路広告に利用するメッセージのオーバーヘッドを大きく低減することを明らかにした (図 4 参照). また, 本提案は複数機能を対象とした経路制御であるため, ICN 網内処理フレームワークにおいて複数 function を利用するための安定した経路を構築できることになる.

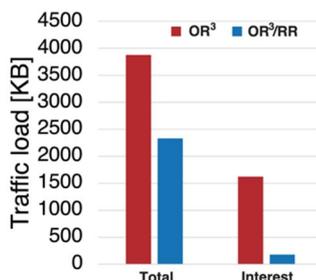


図 4 経路探索に要した広告トラフィック量

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 HAYAMIZU Yusaku, JIBIKI Masahiro, YAMAMOTO Miki	4. 巻 E107.B
2. 論文標題 Information-Centric Function Chaining for ICN-Based In-Network Computing in the Beyond 5G/6G Era	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Communications	6. 最初と最後の頁 94 ~ 104
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transcom.2023WWP0005	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Yusaku Hayamizu, and Hitoshi Asaeda
2. 発表標題 Multicast Service Deployment using Information Centric Cloud-Native Network Functions
3. 学会等名 2024 IEEE International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC 2024) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Yusaku Hayamizu, Atsushi Ooka, Kazuhisa Matsuzono, and Hitoshi Asaeda
2. 発表標題 Controller-Assisted Adaptive Video Streaming Experimented in Cloud-Native ICN Platform
3. 学会等名 2023 IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM 2023) Workshop on Intelligent Cloud Computing and Networking (ICCN) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Hayamizu, K. Matsuzono, K. Kanai and H. Asaeda
2. 発表標題 Enabling Efficient Data Transport for ICN-based In-Network Computing
3. 学会等名 The 20th Consumer Communications & Networking Conference (CCNC 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Hayamizu
2. 発表標題 [Tutorial] Cefore: Open source software platform enabling ICN communications
3. 学会等名 The 23rd Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS 2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Hayamizu, A. Ooka, K. Matsuzono, and H. Asaeda
2. 発表標題 [Tutorial] CCNx-based Cloud-Native Function: Networking and Applications
3. 学会等名 The 9th ACM Conference on Information-Centric Networking (ICN 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関