

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：82636

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K11860

研究課題名（和文）情報指向ネットワークによる情報の価値に基づくデータトランスポートシステム

研究課題名（英文）Value of Information based Transport using Information Centric Networking

研究代表者

松園 和久（Matsuzono, Kazuhisa）

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・主任研究員

研究者番号：90751074

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、情報指向型ネットワークによる情報の価値に基づくデータトランスポートシステムの検討を行なった。まず、価値が高い重要な情報を安全に配送すべく、量子鍵配送ネットワークの鍵リソース及びネットワークリソースの有効活用化を行える情報指向型ネットワークと量子鍵配送ネットワークが融合した方式を提案およびその効果を確認した。更に、アプリケーションがネットワークリソースを有効活用しつつネットワーク機能を柔軟に利用可能とする通信プロトコルの提案、及び、重要度が高い情報をネットワーク内で効率的にキャッシュする方式と連動するトランスポート方式を提案し、通信量を削減しつつ低遅延通信が行えることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我が国が目指すSociety 5.0では、多様なアプリケーションや通信サービスの要求を満たす柔軟なネットワーク技術が重要であると同時に、急増する通信トラフィックをどのように対処するかといった課題がある。本研究では、従来のIPベース（ロケーションベース）通信ではなく、情報ベースの通信を行う情報指向型ネットワーク技術を応用することで、低遅延通信や安全性などのアプリケーション要求を考慮するとともに、通信量削減を図るトランスポート方式の効果を示した。この成果と知見により、学術的には情報指向型通信の更なる発展性と高度化が見込まれ、社会的には将来の新たな通信サービスへの適用が期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this research, a value of information based data transport system using information-centric networking (ICN) approach has been investigated. First, an effective and efficient network architecture that combines both ICN and quantum key distribution network has been proposed in order to deliver important data securely. Second, a network communication protocol that enables applications to flexibly utilize in-network functions such as video compression and in-network caching has been developed. Furthermore, a cache-friendly transport to store more popular data effectively has also been proposed and evaluated.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：ICN CCN NDN QKDN

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

来たるべき Beyond 5G 時代では、サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する社会の実現が期待されている。このような社会では、無数の IoT デバイスがネットワークに繋がり、自律的に膨大な情報が生成・発信されるため、データ通信量増加に更なる拍車がかかることが予想される。例えば、2020 年から 10 年間でモバイルアップリンクデータ量が 70 倍に増加すると予想されている。そして、多種多様な IoT アプリケーションやサービスが登場することで、データ主導社会を支える情報通信ネットワーク基盤の重要性が増す。

主要な IoT アプリケーションの一つとして、低遅延通信が重要なモニタリングシステムが挙げられる。例えば、農作物の生育状態や土壌状況を把握し農作業を実行するシステム(スマートアグリケーション)や、利用者のバイタル情報のリアルタイムモニタリングにより安全な運転制御を行うパーソナルモビリティ(スマートシティ)などが挙げられる。通信データ量がネットワーク容量を瞬間的或いは断続的に超える場合、データ通信にかかる遅延が増加し、このようなアプリケーションやサービスの遅延要求を満たせなくなる可能性がある。今後、実際には活用されない多くの無駄なデータ、或いは重要度が低いデータなどがネットワークに流通し、トラフィック集中や輻輳に伴って IoT サービスが要求する通信品質維持が困難になることが予想される。従って、データ主導社会を支える情報通信ネットワーク基盤を構築すべく、ユーザやアプリケーションにとって重要なデータをネットワーク自体が考慮しつつ、安全で効率的なデータ通信を行うネットワーク技術が重要である。

### 2. 研究の目的

本研究では、本格的な IoT 時代到来を見据え、急増する通信量に対処可能なネットワークを実現すべく、情報指向型ネットワークによる情報の価値に基づくデータトランスポートシステムの研究開発を行う。本研究の目的は、IoT (Internet of Things) アプリケーション等が自律性を最大限に発揮し、重要なデータ配信を低遅延かつ効率的に行うとともに、安全な通信を行えるネットワーク機能を柔軟かつ巧みに利用可能とすることを目的としている。この研究により、情報指向型通信の更なる展開性と高度化や、将来の新たな通信サービスへの適用が期待できる。そして、我が国が目指す Society 5.0 を実現すべく、サイバー空間(仮想空間)とフィジカル空間(現実空間)を高度に融合させたシステムへと昇華させ、経済発展と社会的課題の解決へ貢献することを目指す。

### 3. 研究の方法

本研究では、ユーザ・アプリ主導型にてネットワーク内に流通する情報の特性や属性などを考慮させることができる情報指向型ネットワーク技術(ICN)を応用する。ICN では、ネットワーク内キャッシュを内包しており、従来の IP ベースの通信とは異なり、ユーザはサーバに接続して所望のデータを取得するのではなく、ネットワークに所望するデータの名前を伝え、近隣のノード(ルータなど)がそのデータを保持していれば、そのデータを素早く低遅延に取得することができる。更に、遠方にあるサーバからデータを取得する場合と比較して、ネットワーク内のデータ通信量を削減することができる。この ICN を応用することで、例えば、ユーザが表現するデータの名前や属性などをネットワークが考慮しつつ、多数のユーザからアクセスされるコンテンツ情報は価値があると判断した場合、優先的にそのようなコンテンツ情報をキャッシュすることで低遅延通信並びに通信トラフィック削減に寄与することができる。また、重要なデータを秘匿して安全に取得したい場合、ユーザはその要求をネットワークに通知することで、ネットワークは安全に通信を行うための機能を柔軟に呼び出し利用するなどが考えられる。そこで本研究では、まず、(1)安全かつ効率的に重要なデータを取得するネットワーク機能検討、(2)ネットワーク内で利用可能な機能を柔軟かつ効率的に呼び出す方式検討、そして(3)多数のユーザからアクセスされる重要なコンテンツ情報かどうかの判断機能を特にネットワーク内に持たせることなく、各ノードが自律的に行う効果的なキャッシュ方式と連携するデータ配送方式検討を行った。

### 4. 研究成果

#### (1) ICN を応用した効率的かつ安全な通信方式

重要なデータを効率的かつ安全に配送すべく、ICN による効率的データ配送機能および量子鍵配送ネットワーク(QKDN)による安全な通信を融合させたアーキテクチャを提案した。具体的には、ICN が内包するネットワーク内キャッシュおよびマルチキャスト・マルチパス転送によるトラフィック削減とネットワークリソースを有効活用した効率的なデータ配送が QKDN の鍵リソース有効活用化に貢献することに着目し、ネットワークリソースと鍵リソースの観点から効率的かつ安全なデータ通信を提案した。

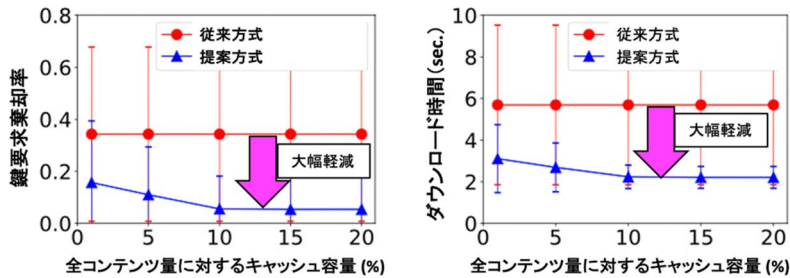


図1：ICNを応用した効率的かつ安全な通信方式の有効性検証結果

簡易なトポロジーにてシミュレーションを行い、有効性評価を行った結果を図1に示す。ICNの主要な特徴であるネットワーク内キャッシュ及びマルチパス転送を利用し、従来方式と比較して、QKDNから供給される暗号鍵の利用効率を2.5倍以上向上させるとともに、コンテンツ取得時間を約1/2に低減可能であることを示した。

### (2) 効率的なネットワーク内機能の呼び出し方式

IoTアプリケーションがネットワークリソースを有効活用しつつネットワーク機能を柔軟に利用可能とするための情報指向型ネットワーク機能活用プロトコルを設計した。具体的には、アプリケーションはネットワークへ送出手続きデータ要求メッセージにコンテンツ名だけでなく、ネットワーク内で利用する処理名を指定しその処理を呼び出すとともに、効率的に処理済みデータ受信を行うべく、1つの要求メッセージで全ての処理済みデータを受信可能とした。これにより、要求メッセージの通信量を大幅削減可能とした。

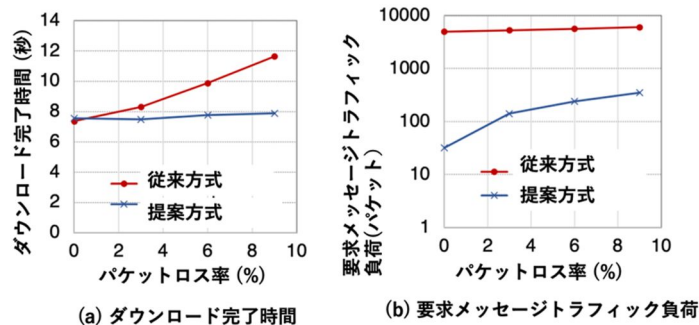


図2：効率的なネットワーク内機能の呼び出し方式の効果検証結果

情報指向型通信を実現するオープンソースソフトウェア「Cefore」を用いて本提案方式の実装を行なった。そして、途中経路上で、2つのビデオデータを連結し、圧縮するというネットワーク内機能を用いた場合の有効性の評価を行なった。図2に本提案方式の評価結果を示す。本提案方式により、ダウンロード時間を約1.5倍短縮するとともに、要求メッセージトラフィック量を10倍以上短縮できることを示した。

### (3) ネットワーク内キャッシュと連動したデータ配送方式

ネットワーク内キャッシュによるデータ通信量トラフィック削減だけでなく、低遅延通信を図るべく、ネットワーク内キャッシュと連動したデータ配送方式を提案した。具体的には、中継ノードが保持する保留リクエストリストを利用し、人気度が高くデータ応答遅延が長いコンテンツほどネットワーク内キャッシュを行うトランスポート方式であり、また、特別なメモリ構造やキャッシュ許可アルゴリズムを適用する必要がないという特徴を持つ。

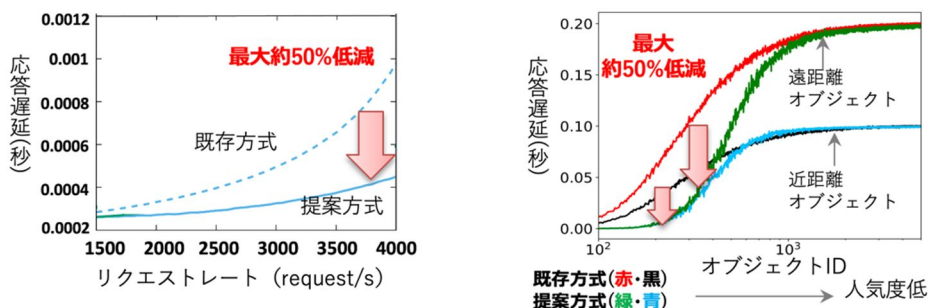


図3：ネットワーク内キャッシュと連動したデータ配送方式の有効性検証結果

図3に本提案方式の有効性検証結果を示す。従来方式と比較し、最大で50%の応答遅延短縮が可能であることを示した。また、遠距離データオブジェクトをキャッシュしやすくなる方式であり、トラフィック削減に貢献するキャッシュ容量の有効活用も可能であることを確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Y. Hayamizu, K. Matsuzono, K. Kenji, H. Asaeda
2. 発表標題 Enabling Efficient Data Transport for ICN-based In-Network Computing
3. 学会等名 IEEE CCNC (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松園和久、朝枝仁
2. 発表標題 ネットワークコーディングを活用したICNの応用
3. 学会等名 電子情報通信学会 ソサエティ大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Matsuzono, T. Miyazawa, H. Asaeda
2. 発表標題 QKDN meets ICN: Efficient Secure In-Network Data Acquisition
3. 学会等名 IEEE Globecom (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Matsuzono and H. Asaeda
2. 発表標題 Revisiting Collapsed-Forwarding Caching for Delay-Sensitive Applications
3. 学会等名 IEEE Globecom (国際学会)
4. 発表年 2023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
---------	---------