

令和 元 年 6 月 24 日現在

機関番号：82636

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K12683

研究課題名(和文)低遅延・高信頼な通信を実現する情報指向ネットワーク符号化方式の研究開発

研究課題名(英文)Information Centric Network Coding for Low Latency and High Reliable Communication

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・ネットワークシステム研究所ネットワーク基盤研究室・研究員

研究者番号：90751074

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、低遅延かつ高信頼な通信を実現すべく、ネットワーク内でのデータキャッシュ、マルチパス・マルチキャスト転送、コンテンツ名を用いた受信者駆動型通信を行える情報指向ネットワーク(ICN)の特徴を生かしたネットワーク符号化方式を利用可能なトランスポート技術の設計及び開発を行った。成果として、ネットワーク符号化技術をICNに適用する際の要件について提案を行い、IRTF(Internet Research Task Force)にて標準化活動を行うと共に、実装の有効性について既存技術と比較を行いIEICE ICN研究会にて発表を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究による成果は、基礎研究だけでなく応用研究および実展開に関して活発に議論されている情報指向ネットワーク(ICN)通信を活用した低遅延かつ高信頼な転送制御手法の要素技術として組み込まれることが期待される。また、近年、映像トラフィックは全体の80%を占めることが予測されるとともに、企業や大学ネットワークでは10%以上の冗長なトラフィックが発生することが指摘されており、ネットワーク資源を効率的に使用可能なデータ転送技術の役割を担える技術開発という観点から重要である。

研究成果の概要(英文)：To realize low-latency and high-reliable communication, we designed and developed a transport protocol with network coding technique that utilizes the following characteristics of Information-Centric Network (ICN): in-network cache, multipath and multicast communication, name-based receiver-driven data retrieval. As research results, we proposed the requirements for applying network coding into ICN and performed the standardization activity in IRTF (Internet Research Task Force). We also conducted performance evaluations of the developed software compared to the existing techniques, and presented the effectiveness in IEICE ICN conference.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：ICN Network Coding

1. 研究開始当初の背景

現在の情報通信基盤であるインターネットは、メールやファイル転送のような「一対一」の情報伝達を行う通信基盤として発展し、通信相手(ホスト)を IP アドレスという「場所」で指定することで、互いに情報のやり取りを行う。しかし、簡素な制御方式を自律分散的に動作させることで機能しているため、輻輳やフェージング等に起因するネットワーク上でのデータ損失に対して迅速な対応が困難である。また、本来通信サービスが必要とすることは、ホストへのアクセスではなく、情報へのアクセスである。ホストよりも近くに所望の情報を保有しているネットワーク機器があるならば、ユーザはそこから情報取得を行う方がより効率的である。

このような視点から、「場所」を指定せず、「情報」や「コンテンツ」の名前を用いて情報取得を行う「情報指向ネットワーク技術：Information-Centric Networking もしくは Content-Centric Networking (ICN/CCN)」が提唱された。インターネットのアーキテクチャを抜本的に見直し、ネットワーク自体がコンテンツ配信・取得に適したクリーンスレートなアーキテクチャに移行しようという情報指向ネットワーク (ICN/CCN: Information/Content-Centric Network) と呼ばれる技術が注目を浴びている。ICN/CCN では、従来の IP アドレスではなく、コンテンツ名を通信の識別子として利用することで、ネットワーク自体がコンテンツを識別し、迅速かつ効率的なコンテンツ取得を可能とする。複数の ICN/CCN 海外研究プロジェクトに加え、2015 年度には電子情報通信学会の時限研究会として ICN 研究会が発足され、ICN/CCN 研究が現在も行われている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、低遅延かつ高信頼な通信を実現し、今後更なる普及が見込まれる 4K/8K といった高品質映像リアルタイム配信サービスを快適に享受可能なネットワーク技術の確立にある。更に、映像トラフィックは全体の 80% を占めると予測されているとともに[1]、企業や大学ネットワークでは、冗長なトラフィックが 10% 以上発生し得ることが指摘されており[2]、効率的なデータ転送を確立することは重要である。

ICN/CCN ではデータ転送の効率化が期待できる。例えば、「情報を取得するためにホストの IP アドレスを調べてアクセスしなければならない」という制約を排除し、IP アドレスではなく情報そのものを示すコンテンツ名を通信識別子として用い、ネットワーク内から情報を取得することを実現する。具体的には、コンテンツ受信者は「コンテンツ名」を宛先とした「Interest」と呼ばれるコンテンツ要求パケットをネットワークに送出し、Interest を受け取ったルータは、もし自身がそのコンテンツを保持(ネットワーク内キャッシュ)しているならばそれを受信者に返送し、キャッシュしていなければ、更に通信経路の上流ルータ、あるいはキャッシュしているであろう近隣のルータにコンテンツ要求パケットを転送する。その結果、従来の IP 通信よりも応答時間を短縮できるようになる。また、ルータは下流の複数コンテンツ要求者から受信した Interest を集約することでマルチキャスト(同じコンテンツを受信しているユーザに対する同時配信)が可能であり、通信量の削減によるネットワーク使用効率の向上やサーバー資源の節約も期待出来る。加えて、複数パスを利用するマルチホーミングやマルチパス(複数経路を用いたデータ転送)による移動体通信(モビリティ)も可能である。

しかし、これら既存技術の損失データへの対応は、受信者が単純に再送要求を行う手法がほとんどであり、ICN/CCN のメリットを十分に活用できていない。同一のリアルタイム映像コンテンツを受信している多数の受信者から同じデータに対する再送処理が発生した場合、重複データの転送が発生する可能性があり効率的ではない。また、ビデオ会議等の低遅延が厳しく要求される場合は、再送処理では許容遅延内に損失データが補完出来ない問題も存在する。

3. 研究の方法

本研究では、ネットワーク内で符号化された映像データを任意の時間内に取得させることで問題解決を図る。任意の時間において複数受信者がデータを損失した場合、再送要求に対して符号化された映像データを同時に配信し、損失データを復元させることで重複データは発生しない。また、再送処理が間に合わない場合は、符号化された映像データを冗長データとして予め配信しておくことで、迅速に復元させることが期待出来る。ICN/CCN 通信はホップバイホップで通信が行われるとともに中継ノードはステートを保持するため、ICN/CCN パケットのオプションヘッダを拡張し、許容遅延および接続リンクのデータ損失状況を各中継ノードが把握することで、ネットワーク符号化によって予め付与する冗長符号化データ量の制御を行い、効率的にデータ転送を行えるように図る。

符号化データを用いて損失データを復元する際、処理遅延は用いるネットワーク符号化の種類や損失データ量に応じて変化する。そのため、現実的な復元処理遅延に抑えることが可能な符号化データ生成方式の検討を行う。また、「2. 研究の目的」で述べたように、ICN/CCN の通信は従来の Internet Protocol (IP) 通信と抜本的に異なるため、ネットワーク符号化によって生成されたデータを ICN/CCN が活用するための要件についてまとめると共に、トランスポート設計を行う。そして設計を元にネットワーク内符号化を行える環境を前提とした ICN/CCN トランスポートプロトコルの実装を行い、本提案手法の有効性を検証する。

4. 研究成果

(1) ネットワーク内符号化を ICN/CCN 通信に適用するにあたり、考慮すべき要件について検討を行うとともにトランスポート設計を行った。要件に関しては、IRTF(Internet Research Task Force)にて標準化提案を行い、NWCRC(Network Coding for Efficient Network Communications Research Group)にてワーキングアイテムとして採用された。具体的なとして、標準化提案文書では、ICN/CCN へネットワーク内符号化を適用する目的およびアドバンテージを明記するとともに、符号化データの名前の付け方と活用する際の要件、ネットワーク内キャッシュとしての利用する際の要件、トランスポート機能としての要件(コンシューマ、ルータ、パブリッシャ(配信者)の各要件およびネットワーク内符号化を利用しないプロトコルとの互換性)、モビリティへの適用要件、セキュリティおよびプライバシーの観点からの要件についてまとめた。セキュリティの観点では、通常の ICN/CCN 通信では、オリジナルのコンテンツパブリッシャが発行するデータは正当であるかどうか検証する機能を保持するが、ネットワーク内符号化を適用する場合、中継ノードが新たな符号化データを生成するケースが存在するため、そのデータの正当性を検証する機能をいかにスケーラブルかつ迅速に行えるようにするかが今後の重要な課題となる。効率的なデータ通信を行うには安定したマルチキャストの実現が必要不可欠であり、同一 Interest のルータによる集約タイミングに大きく依存するため、設計では Interest の扱い方の検討を行った。既存技術と比較して、我々が提案した Symbolic Interest(SMI)[3]にてパブリッシャが随時生成するリアルタイムデータあるいはそれらに付随して付与される冗長符号化データを受信し、ネットワーク内にキャッシュされているデータは通常の Interest で受信する方法が最も Interest のデータトラフィックと受信遅延を抑えることが可能なため、SMI と通常の Interest を用いる方式を採用した。

(2) ネットワーク内符号化を手法として用いるにあたり、オープンソフトウェアとして公開され利用可能な 1)Random Linear Code(RLC)、2)Reed-Solomon Code (RS)、3)LDPC-Staircase を対象とし、Intel-Corei5/Memory8G を搭載した汎用 PC を用いて復元処理遅延の検証を行った。ガロアフィールドサイズは一般的な値を想定し、RLC は 2 および 256、RS は 256 のみ、LDPC は 2 に設定した。復元処理遅延はデータ損失率に依存して増加するため、通常のデータ損失率よりも比較的多い 30%に設定し、コードレートを $2/3$ (冗長データ付与率を 33%)に設定した。RS は最も訂正能力が高い符号化であるが、ブロックサイズが 20 以下の場合、RLC-GF(2^8)と比較して約 3 倍以上の復元処理遅延であった。LDPC は、ブロックサイズが長くなればなるほど復元処理遅延の改善が見られたが、RS と同程度の復元処理遅延であった。本研究では、処理遅延を抑えるためにブロックサイズが数十程度の長さを想定しており、RLC-GF(2^8)が最も早い復元処理遅延を達成しているため(約 3Gbps)、ICN/CCN への組み込みでは RLC-GF(2^8)を対象とした。汎用 PC よりも処理能力が低いスマートフォンや IoT 端末への対応は今後の課題であり、処理遅延の改善が必要となる場合には、RLC パラメータの調整検討を行う。

(3) オープンソフトウェアとして公開されており、ICN/CCN 通信を実現する Cefore[4]に提案手法の実装を行い、評価を行った。図 1 に評価環境と結果を示す。

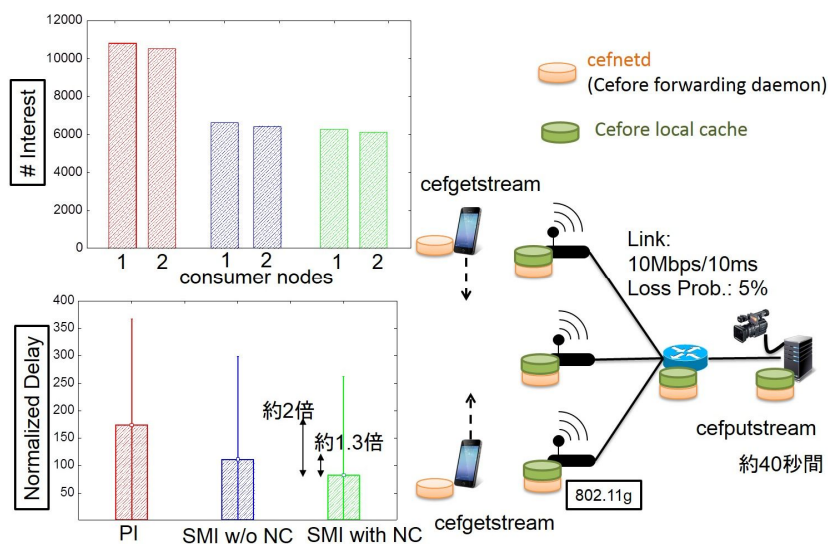


図 1：評価環境と結果

比較対象として、通常の Interest のみを用いる Pipeline Interest(PI)[5]、ネットワーク内符号化を用いず SMI のみを適用した場合(SMI w/o NC)を用いた。PI のパイプラインサイズは 16、ストリーミングレートは 2Mbps、ルータのキャッシュサイズは 250 パケット、コンシューマの移動スピードは 10Mbps、アクセスポイント間の距離は 150m に設定した。結果では、本提案手

法は SMI の効果により Interest トラフィック量を通常の Interest のみを用いる PI よりも約 3 分の 2 程度抑えることが可能であった。また、正規化されたデータ受信遅延(受信遅延/最小のデータ受信遅延)では、PI と比較して約 2 倍、ネットワーク内符号化を用いず SMI のみを使用する場合と比較して約 1.3 倍に抑えられることが可能であった。

<引用文献>

- [1] Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2017-2022 White Paper.
- [2] A. Anand, C. Muthukrishnan, A. Akella, R. Ramjee, "Redundancy in Network Traffic: Findings and Implications," Proc. SIGMETRICS Perform. Eval. Rev., 2009, pp. 37-48.
- [3] K. Matsuzono and H. Asaeda, "NRTS: Content Named-based Real-time Streaming," in Proc. IEEE CCNC, Jan. 2016.
- [4] "Cefore," Available at: <https://cefore.net/>
- [5] V. Jacobson, D.K. Smetters, N.H. Briggs, M.F. Plass, P. Stewart, J.D. Thornton, R.L. Braynard, "VoCCN: Voice-over content centric networks," Proc. ACM ReArchWorkshop, 2009

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

K. Matsuzono, H. Asaeda, C. Westphal, "Network Coding for Content-Centric Networking/Named Data Networking: Requirements and Challenges," IRTF Network Coding Research Group (NWCRCG), draft-matsuzono-nwcrg-nwc-ccn-reqs-01, Mar. 2019.

松園 和久, 朝枝 仁, "コンテンツ名と Network Coding を基調としたモバイルリアルタイムストリーミング," 電子情報通信学会 ICN 研究会, 沖縄, 2019 年 3 月

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

○取得状況(計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究分担者: なし

(2) 研究協力者: なし

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。