

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：82636

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K20265

研究課題名（和文）情報指向ネットワークにおける高効率なキャッシュ・経路協調制御方式の研究

研究課題名（英文）Cooperative control for high-efficient caching and routing in Information-Centric Networking

研究代表者

大岡 睦 (Ooka, Atsushi)

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：20816152

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、情報指向ネットワーク技術(ICN)を活用した高効率なネットワーク実現のために、高品位動画のオンデマンド配信に適した高効率なキャッシュおよび経路の協調制御方式の検討を行った。まず、スループット調整等のトランスポート層の処理までを考慮したキャッシュアルゴリズムの提案、及び、高品位動画等のコンテンツキャッシュの取得を効率化する要求方式を提案し、集中制御型のコントローラーを用いてルーター間の協調を実現する方式を実装して実験を行い、提案方式の有効性を確認した。更に、制御端末とルーター間のメッセージング仕様をパケットフォーマットレベルで検討し、標準化を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、高品位動画のビデオオンデマンドサービスの登場や5Gの普及、ニューノーマル時代到来による通信需要やサーバー負荷の大幅な増大が危惧されており、より省資源で高速・低遅延な通信が可能な高効率ネットワークの実現が求められている。こうした通信を効率化するICNの重要性は高く、加えて、ICNの初期設計において想定されていなかった詳細なネットワークの挙動を考慮して更なる通信の効率化を実現する点で、本研究の重要性は高い。また、実際に実装や標準化、遠隔授業通信実験環境での実験等を通じて、提案方式が実環境においても有効であることを実証した点でも意義は大きい。

研究成果の概要（英文）：We focused on Information-Centric Networking (ICN) as a promising network architecture suitable for on-demand retrieval and distribution of high-definition video and studied a method that cooperatively controls in-network caches and route information of ICN routers to achieve highly efficient communication. First, we proposed an in-network caching algorithm considering the process of flow control provided by the transport layer. We also proposed a method that efficiently requests and retrieves content objects when rich content such as high-definition video is cached in a router. In order to realize these proposals by coordinating between routers in a network, we proposed and implemented a centralized controller that manages in-network caches and route information of routers. Using this implementation, we confirmed the effectiveness of the proposed methods. In addition, we present and standardized the specifications of messages required to control routers at the packet format level.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：ICN 情報指向ネットワーク技術 ネットワーク制御 ネットワーク内キャッシュ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

UHD (Ultra-High Definition) に代表される高品位動画の見逃し配信・VOD (Video On Demand) の登場や 5G の普及による通信需要やサーバー負荷の大幅な増大が危惧されており、より省資源で高速・低遅延な通信が可能な高効率ネットワークの実現が求められている。ネットワーク全体の通信効率を向上する技術として、情報指向ネットワーク(Information-Centric Network; ICN) が世界的に注目を集めている。ICN はインターネットの通信の仕組みを一から見直して再設計された革新的ネットワークアーキテクチャであり、従来の IP アドレスの代わりに、コンテンツごとに割り当てられた名前を用いる。この通信方式によって、ネットワーク内キャッシュやマルチキャスト機能を先天的に提供でき、従来の CDN や P2P 技術等のネットワークエッジにおける負荷分散技術では成しえないトラフィックの削減や通信の高速・低遅延化を期待されている。しかし、ICN の初期設計においては、UHD の VOD 等の実サービスでの利用は想定されておらず、効率的に通信できないケースも多い。動画ファイル等のような大容量コンテンツは小さなデータ片(チャンクと呼ばれる)に分割されるが、初期の ICN で提案されている完全分散型のキャッシュでは、別々のルーターが同じチャンクのコピーをキャッシュしてしまい、キャッシュ資源消費量が肥大化する。更に、チャンクがネットワーク内にばらばらにキャッシュされると、RTT (Round-Trip Time) が安定しないためにユーザがスループット調整に失敗し、通信が不安定化・低速化する。ユーザにとって、これは動画の画質低下や再生の途切れ等の原因となる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、情報指向ネットワーク(ICN)を活用した高効率なネットワーク実現のための、高品位動画のオンデマンド配信(VOD)に適した高効率なキャッシュおよび経路の協調制御方式(ネットワークキャッシュエンジニアリング; NCE)の確立と、その標準化である。高効率ネットワーク実現には ICN が必要だが、高品位動画等のコンテンツ取得効率化のためには更に以下の技術が必要であり、その実現を目的とする。

(1) スループット調整等のトランスポート層の処理までを考慮したコンテンツ単位での最適なキャッシュ・コンテンツ配置・経路制御技術。

(2) キャッシュに活用できる膨大かつ変動が頻繁な情報を最小限のルーター間協調によって最大限に利活用するための協調方式。

(3) 方式を実装するためのパケットフォーマットレベルで具体化された制御メッセージング規格。以上の各技術課題の解決と実機検証、および標準化による技術普及を目的とする。

3. 研究の方法

(1) まず、高品位動画 VOD に適したキャッシュ戦略として、従来のキャッシュヒット率・ホップ削減率・消費メモリ量等だけでなく、スループット安定化・高速化のために、適切なキャッシュチャンク数の管理とコンテンツ配置が必要である。また、経路上に無い近隣ノードのキャッシュ利活用には、キャッシュ状況に応じたリアルタイムな経路制御戦略が必要である。制御においては、静的なトポロジー情報だけではなく、リンク負荷・キャッシュ状況・要求状況等の動的な情報から、最適な戦略を決定すべきである。制御の最適性とリアルタイム性を両立するためには、理論的な最適解を求める方式よりも、メタヒューリスティックや機械学習/AI を活用する方式が有望であると考えられる。これらの方式について効果を比較検討する。

(2) 次に、NCE の制御を実現する協調方式を検討し、各ルーターからの情報伝達および制御命令のためのメッセージが最小限の量で最大限の協調効果を発揮可能な方式を研究する。既存の CCNx パケットフォーマット仕様との互換性を考慮しつつ協調制御方式を確立する。最終的な標準化を見据えて、協調実現のために必要となるメッセージの規格はインターネットドラフトを通じて標準化を目指す。

(3) NCE の実機検証として、確立した NCE 技術を Cefore 上で実装し、エミュレーション・テストベッド環境での評価を通じて、NCE の制御方式を洗練しつつ、その実現可能性と有効性を実証する。

4. 研究成果

(1) リアルタイムでの実証実験のために必要な実 ICN ネットワーク環境構築のためには、頻繁に更新される ICN 実装である Cefore を多様な実験装置に展開して、実験用の設定を変更しながら

ら行う必要がある。新しい技術である ICN ではこのようなツールは存在しておらず、DevOps と呼ばれる方式を応用した ICN 用開発・実験支援方式を提案・実装した。本方式を用いることで、実験環境の多様性に対応しながら実験環境の構築や再設定を高速化し、Cefore を利用した研究・実験を円滑化する効果が期待できる。

(2) キャッシュ協調制御のためにはネットワーク中のキャッシュ状況を取得する必要があるが、標準化が検討されている既存の ICN 情報取得方式では制御に必要な詳細なキャッシュ状況を取得することができず、そのため、要求経路外のキャッシュ情報の取得やコンテンツを構成するチャンク単位での詳細情報を取得可能な方式として ccninfo の提案及び標準化、ツール開発を行った。IETF において標準化活動への取り組みによって、NCE のキャッシュ協調制御のみならず、様々なキャッシュ応用アプリケーションの実現をもサポートすることが期待される。

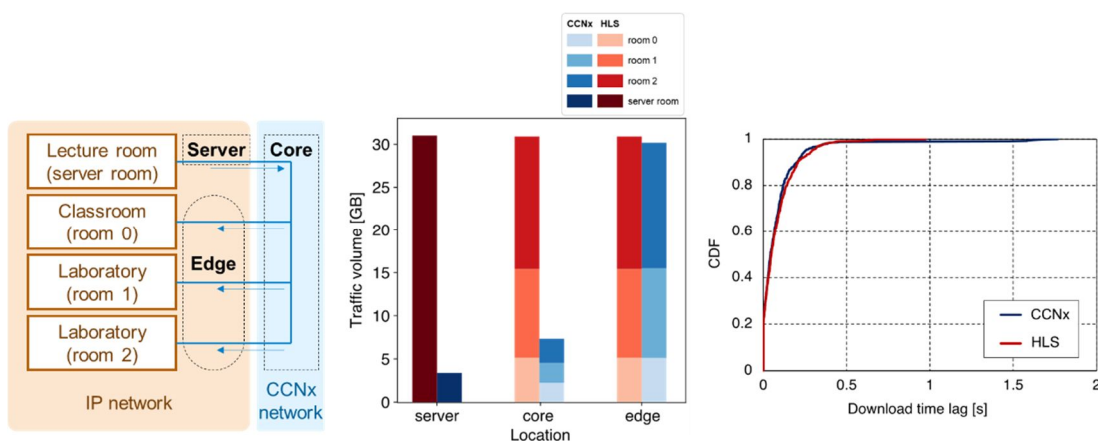


図 1：オンデマンド遠隔授業通信実験環境における提案手法(CCNx)と既存方式(HLS)の性能比較

(3) ICN においては、コンテンツはチャンクと呼ばれる小さなデータ片に区切られて連続した番号が割り振られる。通常の方式ではチャンク単位で独立した要求が行われるが、番号が連続する複数のチャンクを単一の packets で要求でき、特に高品位動画 VOD サービスに適した通信を実現することができる Selective Interest とそのパケットフォーマットを RFC に準拠する形式で提案した。また、キャッシュにおいては連続した一連のチャンクがキャッシュされるようにする配置戦略と、連続していない場合には範囲要求型の Interest と通常の Interest を組み合わせることで要求が可能な方式を提案している。本方式は、ニューノーマル時代に向けたオンデマンド遠隔授業通信実験への応用を考慮して Cefore 及び FPGA を用いた ICN ルーターハードウェアを用いたストリーミング動画配信ネットワークシステムにて実装及び実験を行った。図 1 に示すように、従来の方式と比較してトラフィック量を約 9 割削減した。

(4) Cefore と連携可能なコントローラーとして、CCNx ルーターと通信してルーターごとの経路やキャッシュ状況の情報を取得し、また、制御する機能を有する、中央集権型の制御機構の研究開発を行った。当該コントローラーを用いた高効率なネットワークを実現する NCE 実装として、VOD におけるトランスポート層の処理までを考慮して、一定割合以上のチャンクがキャッシュされていないコンテンツは敢えてルーターのキャッシュから削除することで、パケットの要求・応答にかかる時間を安定させることでスループットを円滑化する制御を提案・実装し、Cefore 及びコンテナ環境を用いたエミュレーション環境にて評価した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 大岡 睦 |
| 2. 発表標題 CeforeとDevOpsツール連携 |
| 3. 学会等名 電子情報通信学会 情報指向ネットワーク技術特別研究専門委員会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Atsushi Ooka, Yusaku Hayamizu, and Hitoshi Asaeda |
| 2. 発表標題 HLS and CCNx Based High-Quality Live Streaming on On-Premises Network System |
| 3. 学会等名 IEEE International Conference on Communications (ICC) Workshop on Research Advancements in Future Networking Technologies (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

| |
|--|
| Github for cefore https://github.com/cefore/cefore IETF Hackathon <Cefore> https://github.com/IETF-Hackathon/ietf106-project-presentations/blob/master/hackathon-presentation-cefore-ietf106.pdf |
|--|

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|