

# キャッシュ指向ネットワークアーキテクチャの研究開発 (111503010)

CONA; Cache-Oriented Network Architecture

## 研究代表者

中尾 彰宏 東京大学

Akihiro Nakao The University of Tokyo

## 研究分担者

山本 周 宮垣 英司

Shu Yamamoto Eiji Miyagaki

東京大学

The University of Tokyo

**研究期間** 平成 23 年度～平成 25 年度

## 概要

本研究開発は、キャッシュ可能性をネットワーク設計の基本概念とし、ネットワークノードに全てストレージを持たせて協調動作させるネットワークアーキテクチャを根本 (Ground-Up) から定義することが目的である。本稿では、トラフィックログを用いたシミュレーション、および、ノードのプロトタイプを作成し、日米を接続するテストベッド上で実証実験を遂行し、評価した結果により、我々の提案するキャッシュ指向ネットワークアーキテクチャは冗長トラフィックの削減に有効であることを報告する。さらに、新世代ネットワークにおけるネットワークアーキテクチャとして標準化提案を行い、実用化に向けた取り組みを報告する。

## 1. まえがき

従来ネットワークでは、現代における通信形態の変革への対処が困難となっており、(1)ネットワーク運用者に対しては、冗長性の高いデータ通信を最大限削減しネットワーク機器に必要な電力を削減することによるコスト減、更に、(2)ユーザに対しては、冗長通信の削減により、廉価に、効率的に、そして、安心・安全に、ネットワークを利用可能な新世代ネットワーク基盤が望まれている。

例えば、基幹ネットワーク間では、「同一」ネットワーク間において「同時」に「同一」データが通信される『時間的局所性 (一度通信されたデータは近い期間にもう一度通信される可能性)』と『空間的局所性 (あるデータ通信の近傍領域で通信されるデータはほぼ同時期に再度通信される可能性)』の高い通信が観測されている。ある ISP における基幹ネットワークでは P2P トラフィックのうち約 30%は同一データであり、キャッシュにより削減可能である。この問題を解決する従来技術として、ネットワークのエッジにおいてアプリケーション通信のキャッシュを用いる手法と、ネットワーク内部での通信のキャッシュを用いる手法が提案されてきたが、どちらも従来ネットワークの構造に依存した解法であり効率性から十分なものではなく、余儀なく複雑な構造とならざるを得ない。

本研究では、従来技術にとらわれず、冗長トラフィックの発生を抑制することが可能なネットワークアーキテクチャ、キャッシュ指向ネットワークアーキテクチャ (CONA) の構築を研究目的とする。ルータ、スイッチ、アクセスポイントなどのネットワークノードにキャッシュのためのメモリやディスクなどのストレージを持たせることで、データ通信において冗長度の高いデータを選択的にネットワーク内部でキャッシュすることができるネットワークアーキテクチャを提案する。すなわち、(1)ネットワーク運用者に対しては、冗長性の高いデータ通信を最大限削減しネットワーク機器に必要な電力を削減することによるコスト減の評価、更に、(2)ユーザに対しては、冗長通信の削減により、廉価・効率的に、安心・安全なネットワークアクセスの実現の 2 つの観点から定量的な評

価を行い、提案技術の標準化と実用化を目標とする。

## 2. 研究開発内容及び成果

キャッシュ可能性をネットワーク設計の基本概念とし、ネットワークノードに全てストレージを持たせて協調動作させるネットワークアーキテクチャを根本 (Ground-Up) から定義する。トラフィックログを用いたシミュレーションおよびノードのプロトタイプによる実証実験を行い、有用性を実証する。また、新世代ネットワークにおけるネットワークノードとして標準化と実用化を目指す。より具体的には、以下に示す 7 つの課題の研究開発を遂行し、基幹ネットワークと無線アクセスネットワークで、冗長トラフィックを削減する手法を統合し、全体アーキテクチャとして評価を行う。

**課題 1** 基本アーキテクチャの設計と検証

**課題 2** トランスポート層プロトコル設計

**課題 3** 複数のルータ間でのパケットキャッシュの基本アーキテクチャの設計と検証

**課題 4** ネットワークコーディングを用いたキャッシュの最適化

**課題 5** 冗長トラフィック観測によるネットワーク異常検出

**課題 6** 無線アクセスネットワークにおける冗長トラフィックの削減

**課題 7** 総合的なアーキテクチャの評価

先ず、課題 1 の CONA の基本アーキテクチャに基づく設計を示す。図 1 に示すルータペア間でのデータキャッシュを行う。従来のパケットキャッシュの方法と同様に ISP の AS (Autonomous System) の境界にあるルータペア間でパケットのデータをキャッシュし冗長トラフィックを削減するが、本課題の CONA では、パケットを複数の細かいデータチャンクに分割し、データチャンク毎にハッシュ値計算しキャッシュする方式を採用する。ルータペア間の冗長データチャンクに対しハッシュ値変換で圧縮することで、大幅なトラフィック削減が実現できる。

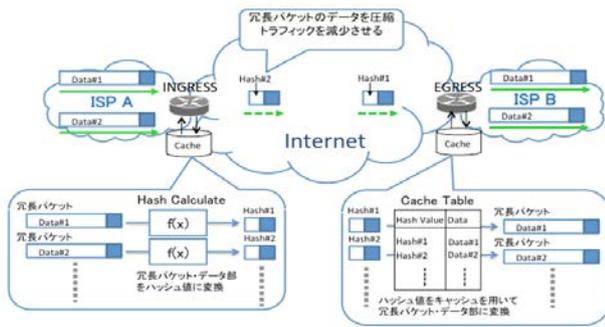


図1 ルータペア間で定義されたパケットキャッシュの基本アーキテクチャ

CONA のプロトタイプ実装を行い、JGN-X 上に展開された NICT 委託研究の仮想化ノードシステムを用いて、AS 間で、基幹ルータ上に、CONA をプロトタイプ実装することで、P2P トラフィックの削減効果の実験評価を行った結果 100 クライアントが生成する 100Mbps 程度の P2P トラフィックに対して、70%以上のトラフィック量の削減が可能であることがわかる。[1] さらに日米を接続するネットワーク仮想化テストベッドの日米間リンクの両端にキャッシュルータを配置しキャッシュによる冗長トラフィック削減の実証実験を遂行した。[8]

課題1のネットワーク層でのキャッシュ・アーキテクチャに加え課題2では、TCP に変わるプロトコルとして、コンテンツ ID に着目した COL4 (Content Oriented Layer 4) というトランスポート層でキャッシュを行う新しいトランスポート層プロトコルを実現する。[2]

さらに、基幹ネットワークに加え無線アクセスネットワークで、冗長トラフィックを削減する CONA の実装を課題6にて実現する。基本的には有線ネットワークにおける方式が適用可能と考えられる。しかし、無線では空間伝播、干渉による通信障害の増大、利得の低下などにより帯域が有線に比べて低い特徴があるため、それらを考慮したキャッシュの有効利用が考えられる。本課題では、動画コンテンツのダウンロード、アップロードに対し CONA による無線アクセス技術の適用について研究開発を行った。その結果、3G 回線では8倍以上のダウンロード時間短縮を確認した。アップロードに関しても 50%以上の時間短縮が得られ、無線ネットワークでの CONA が非常に効果的であることを確認済みである。[3]

### 3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

現在のインターネットでは、様々新しい問題が多く指摘されるようになってきているが、本研究では、中でもクラウド型動画アクセスにおけるバックボーンの冗長トラフィックが増大している問題に取り組み、網内でパケットデータをキャッシュする網内処理を実行ことにより冗長トラフィックの削減を目指すキャッシュ指向型ネットワークの基盤構築を目的としている。本分野の一般的な研究分野である網制御をソフトウェアで実現する Software Defined Networking や 網内処理を実現する Network Functions Virtualization というトピックは、研究開発が始まった当初では、まだ国内では認識が薄かったが、現在は、既に多くのキャリアが採用を検討している程、実用化や標準化の動きが激しい分野となっている。これらの動向を考慮すれば、本研究で実現した網内処理によるパケットデータキャッシュは、新規サービスや新規産業の創出の一助となる成果である。研究開発終了後の今後の展開として、

主に SDN/NFV のアーキテクチャに沿う形で本研究の成果を適用し、インターネットサービスプロバイダやキャリア等でのトラフィックの削減、および、顧客の動画コンテンツアクセスの時間短縮等の便益をもたらす新技術として社会的に実装することに取り組みたいと考えている。

### 4. むすび

本研究開発で得られた研究成果は、現在、NICT 委託研究で進められているネットワーク仮想化基盤プロジェクト (課題149) の基盤上で稼働させることができるため、研究開発期間中もこれらの他のプロジェクトと連携することで相乗効果を実現している。今後も、このような他のプロジェクトの連携が可能であれば継続的に波及効果を高めて行く予定である。

最後に社会経済への波及効果に関して、本研究成果を実際にキャリアやインターネットサービスプロバイダに採用される技術として発展させる必要があると考えており、この観点から、研究開発終了後の今年度以降、既に積極的にインターネットサービスプロバイダとの共同研究を予定するなど、本研究成果を含む、様々な網内処理の実現による、新産業・新規サービス・雇用の創出に向けた社会経済への波及効果を狙う計画である。

#### 【誌上发表リスト】

- [1] S.Yamamoto and A.NAKAO, "P2P Packet Cache Router for Network-Wide Traffic Redundancy Elimination", IEEE ICNC 2012, pp.830-834, Maui, Hawaii, Jan. 2012
- [2] Y. Zhu, and A. Nakao, "A Deployable and Scalable Information-Centric Network Architecture", IEEE International Conference on Communications 2013 (ICC '13), pp.3753-3758, Jun 2013
- [3] E.Miyagaki and A. Nakao, "Cache sharing method using IEEE 802.11 Wireless Access Points for mobile environment", IEEE International Conference on Communications (ICC), pp.1-5, Kyoto, June 2011

#### 【申請特許リスト】

- [4] 中尾彰宏、「情報処理装置、情報処理システム、サーバ装置、及びプログラム」、(特願 2011-265303) 2011年12月2日

#### 【登録特許リスト】

- [5] 中尾彰宏、山本周、中内清秀、「パケット符号化および装置ならびに復号方法および装置」特許第 5131915 号、平成 24 年 11 月 16 日

#### 【国際標準提案リスト】

- [6] "T13-SG13-C-0324 Proposed modification to clause 12 of Y.SDN-FR", STUDY GROUP 13 - CONTRIBUTION, INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION, November 2013
- [7] "SG13RGM-140217-C-118 Proposed modification to clause 7, 11, and 12 of Y.SDN-FR", STUDY GROUP 13 - CONTRIBUTION, INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION, February 2014

#### 【報道掲載リスト】

- [8] "プログラム可能な仮想網日米間で接続に成功"、日刊工業新聞、2013年7月19日
- [9] "遠隔地のコンピュータ短時間で情報処理"、日経産業新聞、2013年7月19日
- [10] "プログラマブルな高機能仮想網"、科学新聞、2013年8月2日

#### 【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://www.nakao-lab.org>