

jh170041-NWH

端末・エッジ・クラウド連携の三位一体による「考えるネットワーク」の研究

中尾彰宏 (東京大学)

概要 本研究は、端末・エッジ・クラウドの三位一体協調システムアーキテクチャにおいて、(1)アプリケーション毎のスライス技術・エッジコンピューティング技術、(2)クラウド連携によるオンライン機械学習により有用なネットワーク制御を実施する。今年度は、大容量ネットワーク基盤と大規模計算機環境を利用し、トラフィックをキャプチャーし機械学習によりトラフィックを分類し、有用な情報を抽出するシステムの構築を行う。同時に、既にキャプチャーしたトラフィックをオフラインで分析し、高度なネットワーク運用への適用方法を提案し、その有用性を評価する。

1. 共同研究に関する情報

(1) 共同研究を実施した拠点名

お茶の水女子大学、工学院大学、九州大学、北海道大学、東北大学

(2) 共同研究分野

□ 超大容量ネットワーク技術分野

(3) 参加研究者の役割分担

(1) アプリケーション毎のスライス技術・エッジコンピューティング技術 (東京大学)

(2) クラウド連携によるオンライン機械学習
(2-1)クラウド連携 (東京大学・北海道大学・東北大学・九州大学)

(2-2)機械学習・トラフィック解析 (東京大学・お茶の水女子大学・工学院大学)

2. 研究の目的と意義

(1) 背景

近年、ディープラーニング等の機械学習の手法が飛躍的に進歩し、Google の AlphaGo が 4:1 で人間に勝利するなど、学習能力の向上、特に特徴量の自動学習による革新が一般に知られるところとなっている。Ray Kurzweil 博士により 2045 年に到来すると予測された技術的特異点 (機械の能力が人間の能力を超越する時期) は従前の予測より早く到来するとの予測もある。

また、多彩なアプリケーションが多様な特徴を持つトラフィックを生成することが予

想される。IoT(Internet of Things)と呼ばれるように、無数のセンサーをクラウドに接続し、情報を集約してビッグデータとして解析を行うことで、有用な情報を引き出す手法が注目を集めている。このような IoT のトラフィックは従来のトラフィックと全く特徴が異なり、高いリアルタイム性や常時低帯域の通信が発生する。一方、協調運転等の車の自動制御には、低遅延のフィードバックを必要としたり、4K/8K のコンテンツ配信等では、突発的に冗長性の高いデータが視聴される時間帯に集中的に流れたりするように、多種多様な通信が発生する。第五世代モバイルネットワークでは、mMTC (massive Machine Type Communication), URLLC (Ultra Reliable and Low Latency Communication), eMBB (enhanced Mobile Broad Band)と呼ばれるカテゴリーに分類された多様なアプリケーションの通信が予測されている。また、通常のアプリケーションの通信だけではなく、マルウェアが引き起こす通信も同様にスライスに収容することで、そのスライスを制御することにより、通信を遮断したり、隔離したりすることが可能となる。

同時に、上述のアプリケーションの中で、特に低遅延のフィードバックが必要なアプリケーションはクラウドからのフィードバッ

クではなく端末(UE: User Equipment)の近傍においてデータ処理をする機構が必要となる。

(2) 課題

前述の背景を考えれば、近未来の通信基盤には、以下の 2 つの課題が存在すると考えられる。

第一に、アプリケーションをそれぞれ割り当てられたスライス(独立した資源の集合で構成される仮想ネットワーク)に収容し、互いに異なる性質を持つアプリケーションを「非干渉に収容する」エンドツーエンドのネットワークスライス技術が必須となると予想される。通常のフロー制御においては、従来、ヘッダー情報による単純な分類(ポート番号や IP アドレスを用いる手法)やパケットデータの DPI (Deep Packet Inspection) によるアプリケーション分類を行うことが通例であったが、アプリケーションのトラフィック分類においてヘッダー情報や DPI による分類は、通信の秘密や暗号化されたパケットデータへの非適用性が課題である。

また、スライスの資源独立性 (Resource Isolation) に関しても、ネットワーク資源、計算資源、ストレージ資源を統一的に独立割り当てる方法や、スライスの資源を効率的に分離する方法やセキュリティの確保などが課題である。

第二に、アプリケーション毎に収容されたスライスにおいて、低遅延でフィードバックを実現するためのエッジコンピューティングの基盤技術が必要である。

本研究では、前述の背景や課題に対応し、「端末、エッジ、クラウドが三位一体で連携し機械学習を駆使した最適ネットワーク制御を行う「考えるネットワーク」の実証実験」を目的とする。

具体的には、前述の 2 つの課題を A、B として、それぞれ、以下の手法の実証実験を行う。

第一の課題 A に対し、アプリケーション毎

のスライス基盤技術を実証する。

具体的には、ネットワークスライス技術においては、

(a) 教師データを準備して暗号化パケットデータにも適用可能なアプリケーションを機械学習によりスライスに分類する機構 (Machine Learning Classification)

(b) スライスの資源の「効率」(performance)を他のスライスと干渉しないように収容する機構 (Performance Isolation) をネットワーク機器の仮想化により実現、およびスライスに収容されたアプリケーションが他のスライスの他のアプリケーションから不可侵である機構 (Security Isolation) を実現する基盤技術

(c) アプリケーション毎に適用可能なエッジコンピューティングの基盤技術を実証する。

第二の課題 B に対し、複数のクラウドを連携し、ネットワークで接続された大規模な計算資源を確保し、クラウドで実行する機械学習とエッジにて結果を適用する連携アーキテクチャをアプリケーションにより実証する。

3. 当拠点公募型共同研究として実施した意義

本研究では、地理的に分散する異なる計算資源とストレージ資源をネットワーク接続により連携させ、常時入力される大容量トラフィックに対するオンライン機械学習を行うことにより、アプリケーション毎にトラフィックをスライスに分類し、エッジコンピューティングを実施可能とするシステムアーキテクチャの実証を行う。

このため、連携が得られる北海道大学、東北大学、九州大学、東京大学の各拠点に分散する計算資源とストレージ資源を SINET5 にて接続して活用する拠点公募型共同研究が必須となる。またこの連携により構築するインフラを利用し評価するアプリケーションの研究として、東京大学・お茶の水女子大学・工学院大学が進めるトラフィックの機械学

習による分析とエッジコンピューティングの適用の共同研究を実施する。

4. 前年度までに得られた研究成果の概要

(新規課題のため該当しない)

5. 今年度の研究成果の詳細

「考えるネットワーク」実現を目指し、課題 A、B に関して研究を行った。

課題 A の研究成果：

課題 A の(a)に関し、ネットワークトラフィックの種別をネットワーク・ノードで高い精度で分類する技術について研究を行った。

アプリケーション毎にトラフィックを分類しネットワーク・スライシングする仕組みは、平成 27 年度～29 年度までの科学研究費助成事業基盤研究(A)「アプリケーション・デバイス特化型次世代 MVNO の研究(15H01681)」の成果を活用している。100%アプリケーション同定された実モバイルサービストラフィック取得データを教師データとして機械学習を遂行し、ディープラーニングにより 90%以上の精度で実サービストラフィックのアプリケーション同定を実現した。[1, 4] 図 1 に機械学習によるトラフィックのアプリケーション同定手法の構成を示す。

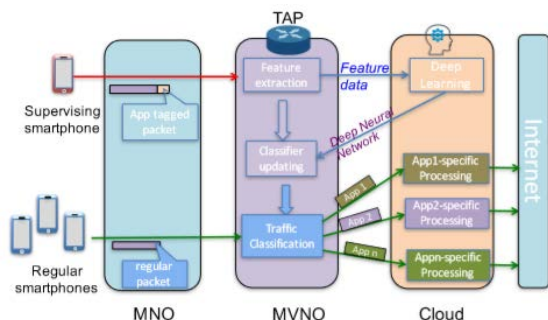


図 1 機械学習によるモバイルトラフィックのアプリケーション同定

図 2 に教師データ量を増やすことにより同定精度向上が可能であることを実トラフィックデータにより実証した。

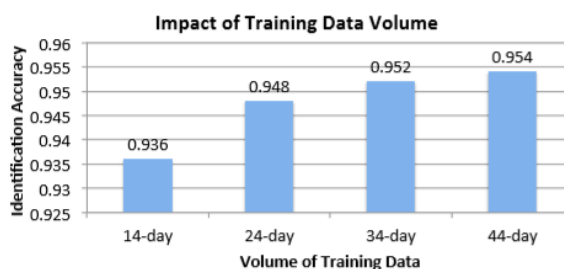


図 2 教師データ量に対する機械学習精度の向上

さらにトラフィック分類の仕組みを利用し、IoT のトラフィックに適用しトラフィックの動的振る舞い監視を実現した。[8]

機械学習によるトラフィックのアプリケーション同定は暗号化されたトラフィックに適用可能である。近年インターネット・サービスでは、セキュリティ強化のため HTTPS を使用した暗号化が非常に多くなっている。

このような暗号化通信に対応した通信サービス同定手法を別のアプローチでも実現した。通信機器にてサービス内容に応じた優先制御などを行うには、通信機器にてそのフローのサービスを同定する必要がある。HTTPS 通信では TLS により暗号化される、しかし、TLS も通信開始時には、平文によるメッセージ交換が行われる。この点に着目し、平文部について n-gram 出現頻度の相関係数比較により TLS セッションのクラスタリングを行うことで、パケットフローのサービスを同定する手法を提案した。提案手法を用いた性能評価を行い Google15 サービスに対し 90%以上のサービス同定を確認した。[10]

図 3 にサービス同定の評価結果の一例を示す。サービス同定には、修正 Manhattan 距離を用いている。

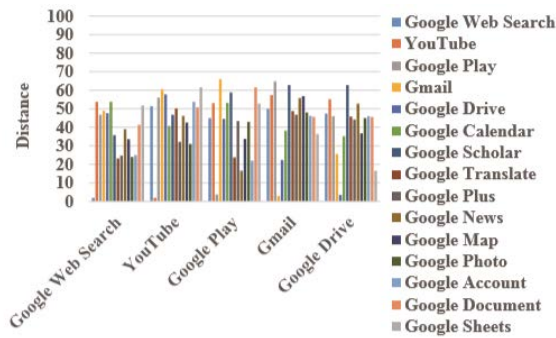


図 3 TLS 暗号化フローのサービス同定

課題 A の(b)に関し、ネットワーク機器の仮想化を用いた研究を行った。

課題 A の(a)で行っているネットワーク内ノードでトラフィックのアプリケーション同定を使用し、大規模災害などでネットワーク輻輳が生じたとき、優先すべきアプリケーション・トラフィックとそうでないものを選択的に、それぞれ仮想化されたネットワークに収容する。仮想化したスライスネットワークについて個別にトラフィック制御できるため、優先すべきアプリケーション・トラフィックについては、円滑な通信サービスを継続して提供することが可能になる。

大災害時のネットワーク運用として、ネットワーク制御の観点からも新しい手法を提案した。すなわち、ネットワーク内のトラフィック情報だけではなくソーシャル・ビッグデータに含まれるネットワーク情報を抽出して、ネットワーク制御を行う方法である。

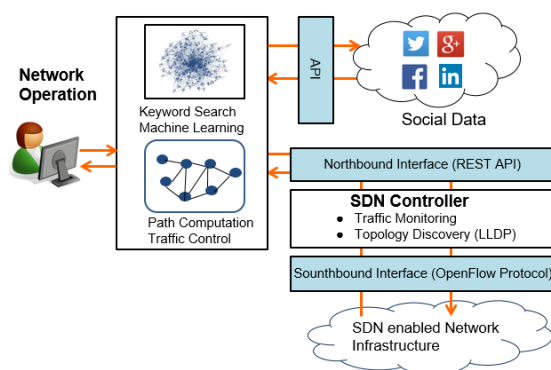


図 4 ソーシャルビッグ・データ情報によるネットワーク制御アーキテクチャ

図 4 にビッグデータから得られた情報により SDN コントローラによりネットワーク盛業を行うアーキテクチャを示す。H26-27 年度総務省 SCOPE 受託研究にて東日本大地震の Twitter データに対し機械学習により、時刻や場所を含むネットワーク状態に関する情報を取得する技術の研究開発を行った。そこで、Twitter データからネットワーク情報を抽出する技術を用い SDN 制御でネットワーク制御を行うシステムを構築し、JGN を使用した広域ネットワーク実験により、その可能性を実証した。[5]

ソーシャル情報に基づくネットワーク制御の仕組みに、トラフィックのアプリケーションを同定する技術を組み合わせ、大災害時のネットワーク輻輳において、帯域を必要とする Youtube とメッセージもしくは音声のみの Skype のアプリケーションのトラフィックを同定し、ネットワーク・スライシングにより個別に帯域制御および経路制御を行う仕組みを実験実証した。[3, 9]

前記の研究成果である Twitter データから災害時のネットワーク障害について時間と場所の情報を抽出する技術を発展させ、リアルタイムなイベント検索手法を検討した。Twitter には、ユーザの体験やローカルイベント、地域特有の情報など、特定の場所にいる人にとって有益な情報が含まれているため、Twitter データから観光地や観光ルート、地域の特徴を抽出する手法についてはすでに研究が行われている。しかし、ユーザの地理的、時間的制約を考慮し、「その時、その場」で役立つ情報を抽出する方法については、未だ検討されていない。そこで、開発した手法により旅行者などの時間とともに移動していく人に有用な情報を Twitter から抽出する方法を検討した。さらに、外国人観光者向けに適した情報を多言語化することにより、インバウンド対応のタイムリーな情報提示が可能と考えた。[2]

次に課題 A の(c)に関し、エッジコンピューティングを使用したアプリケーションの応答高速化を目的とする基盤技術についての研究を行った。インターネットアプリケーションにおいて、データベース検索時間を高速化するため、ネットワーク内でデータ要求パケットを検出し、一度要求されたデータについてデータをキャッシングするインテリジェント・スイッチの実装を行った。実装では、クラウドのデータベースとの通信を想定し、エッジ・スイッチで TCP セッション維持のためスイッチ内に TCP シーケンスのマイグレーションを実現した。(図 5)

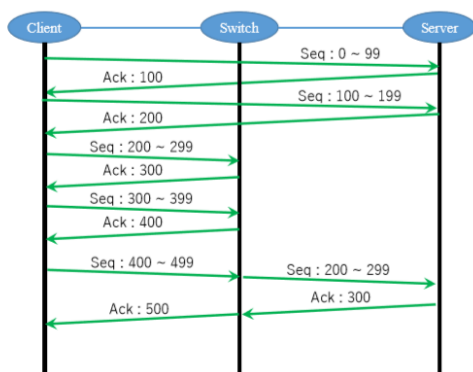


図 5 スイッチ内 TCP マイグレーション動作

Cassandra データベースのクエリーに対し実装したスイッチの性能評価を行い 20%以上の応答時間の高速化を実現した。[6]

ネットワーク異常予測や大災害時のネットワーク輻輳を事前予測する技術としてクラウドデータやクラウドコンピューティングによる機械学習の利用が考えられる。そこでニューラルネットワークをトラフィック予測に適用し、トラフィックのパケット特徴量を深層学習によるトラフィックを予測する実験を行った。学習データを用いた評価を行いトラフィック予測精度の機械学習パラメータのチューニングを進めた。

トラフィック異常予兆の検出の観点から、異常のあらわれるパラメータとしてトラフィック内のパケット遅延量を取りあげ、その

測定手法について検討した。パケット遅延は、タイムスタンプ情報を挿入する TCP のオプション機能を利用しネットワーク内でパケットのタイムスタンプを抽出しパケット遅延を検出する方法を提案した。[7] RFC で標準化されている TCP オプションでは、タイムスタンプはエンドーエンドでしか挿入のみのためネットワーク内で発生するパケット遅延は計測できない、そこで、タイムスタンプ・ヘッダがネットワーク内で自由に挿入・削除がネットワーク・データプレーンでプログラミングできる P4 言語の利用の検討を行った。[11]

課題 B の研究成果：

A の課題では、主に実験室内の小規模な環境で実験検証を行っている。今後、他拠点の計算資源を連携利用して規模を大きくして実験を行うため、ネットワーク構築を進めた。

東京大学情報学環の無線システム、エッジコンピューティング資源と JHPCN の各拠点の計算機資源を SINET5 経由で接続するため、東京大学本郷キャンパスの光ネットワーク敷設工事により 10G ネットワークを構築した。

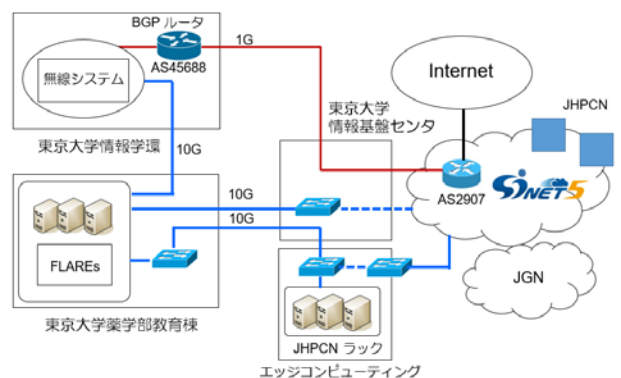


図 6 JPCN 拠点接続に向けた実験ネットワーク構築

課題 B の研究目的であるエッジコンピューティングに関し、エッジコンピューティング用サーバを JHPCN に接続するため東京大学情報基盤センターのラックに機器を設置し、構

築した 10G キャンパスネットワークに接続した。図 6 にネットワーク構成図を示す。

図 6 に示すように SINET5 との BGP ピアリングによりグローバル・アドレスで直接インターネット接続しているネットワークとの接続も行った。この結果、インターネットで提供されるアプリケーション・サービスへのアクセスによりアプリケーション・トラフィックデータの収集が可能になった。

さらに海外研究機関との連携の観点から SINET5 に光ファイバで直接接続可能なリンクを構築したため SINET5 利用して海外の実験ネットワークへの接続も可能となった。

9 月 6 日に来日した Startlight SDX プロジェクトを Director として推進する米国ノースウェスタン大学の Joe Mambretti 教授と SDN ドメインの相互接続である SDX について議論を行ったが、SINET5 経由でグローバルな大容量光バックボーン接続できるようになったため日米の SDX について具体的に検討が進められるようになった。

今後、東京大学の情報基盤センターで研究を行っている NFV 環境、および中尾研究室で研究開発を進めているプログラマブル通信ノード FLARE を基盤として、ネットワーク相互連携における柔軟な通信制御プラットフォーム構築が今後期待される。

6. 今年度の進捗状況と今後の展望

研究の初年度であり、遠隔の計算資源、ストレージ資源を接続するための学内のネットワークおよびシステム構築を先ず完了した。今後、遠隔資源接続に向け全体システム構築を行う。今年度は、とくに既存の取得データおよび現状の環境で得られたデータを用いて、本研究が目指す研究内容の学術論文・論文発表等を行い、研究成果については十分得られた。来年度も規模を拡大して継続して同研究を推進したいと考えている。

7. 研究成果リスト

(1) 学術論文

[1] A. Nakao , P. Du, “Toward In-Network Deep Machine Learning for Identifying Mobile Applications and Enabling Application Specific Network Slicing,” IEICE Transactions on Communications, July 2018 (to be published)

(2) 国際会議プロシーディングス

(3) 国際会議発表

[2] R. Kudo, M. Enoki, A. Nakao, S. Yamamoto, S. Yamaguchi, M. Oguchi, “Real-Time Event Search Corresponding to Place and Time using Social Stream,” 3rd IEEE International Conf. on Big Data Intelligence and Computing(DataCom2017), Nov. 8, 2017

[3] T. Tairaku, A. Nakao, S. Yamamoto, S. Yamaguchi, M. Oguchi, “Application Specific Traffic Control using Network Virtualization Node in Large-Scale Disasters,” IEEE BigData 2017, Dec. 2017

[4] Akihiro Nakao, “Research and Development on End-to-end Network Slicing,” 4th OpenAirInterface Workshop Fall 2017, Nov. 2017

[5] T. Tairaku, A. Nakao, S. Yamamoto, S. Yamaguchi, M. Oguchi, “Social Data Driven SDN Network Operation using Northbound Interface,” IEEE International Conf. on Computing, Networking and Commun. (ICNC2018), March 2018

[6] S. Nirasawa, M. Hara, A. Nakao, M. Oguchi, S. Yamamoto, and S. Yamaguchi, “Application Switch using DPN for improving TCP Based Data Center Applications,” 2nd IFIP/IEEE International Workshop on Analytica for Network and Service Management (AnNet2017), 2017

(4) 国内会議発表

[7] 山本周, 中尾 彰宏, 宮澤 亮成, ” 負荷分散装置におけるサーバ異常予測のための監視方法

の検討”，電子情報通信学会 ソサエティ大会，
2017 年 9 月

[8] P. Du, Y. Kiriha, A.Nakao, “Application Specific IoT Suite Leveraging Deeply Programmable Network and IoT MVNO,” Society Conference of IEICE, BS-7-16, Sept. 16, 2017

[9] 平久 紬, 中尾 彰宏, 山本 周, 山口 実靖, 小口 正人, “仮想化ノードによる大規模災害時におけるネットワーク制御実験,” 電子情報通信学会モバイルネットワークとアプリケーション (MoNA) 研究会, 2017 年 12 月

[10] 原 雅貴, 葦澤 慎之介, 中尾 彰宏, 小口 正人, 山本 周, 山口 実靖, “複数 TLS セッションの解析に基づくサービス同定の精度に関する一考察,” 第 16 回情報科学技術フォーラム (FIT2017) 2017 年 9 月

[11] 山本 周, 中尾 彰宏, 宮澤 亮成, “P4 スイッチによるインバンド・メタデータ制御試験,” 電子情報通信学会 総合全国大会, 2018 年 3 月

(4) その他 (特許, プレス発表, 著書等)

特になし