

令和元年6月24日現在

機関番号：33903

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2015～2018

課題番号：15H02697

研究課題名（和文）スパイクトラフィックを抑える次世代M2M通信制御アーキテクチャの研究

研究課題名（英文）Research for the new generation control architecture for M2M communication to suppress spike traffics

研究代表者

水野 忠則（MIZUNO, Tadanori）

愛知工業大学・情報科学部・教授

研究者番号：80252162

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,900,000円

研究成果の概要（和文）：本課題では、セルラーネットワークにおけるIoTサービスの評価方法、IoTトラフィックの分類方法、IoTトラフィックをロードバランス可能なオーバーレイネットワーク技術の提案を行った。提案方式を用いることにより、IoTサービスに起因するセルラーネットワークの性能をより正確に評価できるだけでなく、実際のIoTトラフィックの分類も可能であることを示した。さらに、オーバーレイネットワークを利用することにより、トラフィックがロードバランスされた場合にも、継続的な通信をIoTデバイスに提供可能であることを示した。このように、本研究成果は将来のセルラーネットワークを利用するIoTサービスの基盤になり得る。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本課題では、実用的に利用されているセルラーネットワークを用いたIoTサービスを実現するために必要不可欠である、セルラーネットワークの性能評価手法、IoTサービスで新たに生まれるトラフィックの分類手法、セルラーネットワークの安定性を維持するための処理を実現可能なネットワーク通信技術を包括的に議論した。また、研究成果は既存のセルラーネットワークに適用可能なだけでなく、今後のネットワーク設計などにも利用することが可能であり、学術的な意義だけでなく、社会的な意義も高いと考えている。

研究成果の概要（英文）：This research has been proceeded to propose an evaluation scheme of IoT service in cellular network systems, a classification scheme of IoT traffics, and an overlay network technology to support load-balance of IoT traffics. In the evaluation scheme, we have clarified the dominant control signalings to evaluate the IoT service. The proposed classification scheme also classifies the real IoT traffic from a smart speaker. The overlay network technology can provide seamless communication to IoT device even if the traffic is load-balanced to improve cellular network performance. The whole schemes should be fundamental technologies to realize stable future IoT service over a cellular network system.

研究分野：モバイルネットワーク

キーワード：IoT セルラーネットワーク トラフィック分析 オフローディング オーバーレイネットワーク

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

IoT (Internet of Things)機器の普及が期待されるが、セルラー網やWiFi、6LoWPAN等、多種多様な無線ネットワークインタフェースを介してIPネットワークに接続される世界が一般的になると考える。それに伴い、SNSだけでなくヘルスケア、業務・作業支援など多種多様なネットワークサービスも出現し、IoT機器から得られたデータと情報システムをリアルタイム連携し活用したイノベーティブな世界が実現されつつある。しかし、常時ONであることを求めるサービスの爆発的普及や、状態更新・他端末からの通知を受信するためにバックグラウンド処理を常駐させるサービスは、従来のWebブラウズやファイル転送といったサービスとは特性の全く異なるトラフィックを生じさせる。例えば、安直に開発されたスマホプリインストールサービスの場合、トラフィック発生の時刻同期が生じ、特定の時間にバースト的なトラフィックが発生するスパイクトラフィックを発生させる原因となった。昨今のスマートフォンの爆発的な普及と、これまでと全く特性の異なるユーザデータやシグナリングの増加によるスパイク的トラフィックによって、国内でも何度か大規模な通信障害が発生している。サービスやアプリケーションに起因するシグナリングトラフィックをいかに処理するか様々な検討が始まりつつあり、キャリア側アプローチとしてIoT機器の状況をネットワーク側で分析しトラフィック制御する手法など研究されているが、コンシューマ側アプローチとして独自に実現できるIoT管理アーキテクチャの確立も望まれる。

### 2. 研究の目的

今後のIoT機器の爆発的普及によって懸念されるスパイクトラフィックを抑える次世代IoT機器制御アーキテクチャを確立する。IoT機器の増加に伴って、セルラー網への接続時やハンドオーバー時に生じる認証・資源割当等のシグナリングの増大は、通信障害を引き起こす原因として世界的に対応策の模索が進められている。本研究では、既存のシミュレーションなどでは評価が行われていないシグナリングに伴う影響を評価可能とするとともに、トラフィックの分類、これらのトラフィックの知的迂回をモバイルプロトコルを活用するオーバーレイネットワークにより実現することを目的とする。

本研究では、次に示す課題について研究を推進してきた。

#### 課題 I. セルラーネットワークのシグナリング評価手法の開発

本課題では、既存のネットワークシミュレータでは、セルラーネットワークのデータトラフィックは評価可能である一方、シグナリングに伴う影響は十分に評価できていないことを明らかにするとともに、スパイクトラフィックを抑える観点で重要となるシグナリング手順を3GPPの仕様から示してきた。

#### 課題 II. トラフィックの知的分類手法の開発

本課題では、IoT機器と呼ばれる様々なデバイスを利用した場合のネットワークトラフィックを実験を通して明らかにするとともに、これらのトラフィックを知的に分類可能な手法を開発してきた。

#### 課題 III. トラフィック制御を支えるオーバーレイネットワークの開発

本課題では、スパイクトラフィックにつながるトラフィックを知的迂回する場合には、インターネットで利用されるIP網通信に影響を与えなくするための技術として、モバイルプロトコルを拡張したオーバーレイネットワーク技術の開発を進めてきた。

### 3. 研究の方法

#### 課題 I. セルラーネットワークのシグナリング評価手法の開発

本課題では、セルラーネットワークの評価が可能な商用ネットワークシミュレータScenargieを拡張することにより、シグナリングの影響を考慮した性能評価手法を開発してきた。

セルラーネットワークは、ユーザデータを取り扱うU-Planeとシステム制御用のデータを取り扱うC-Planeのトラフィックを取り扱う。U-PlaneとC-Planeは別帯域として処理されるため、一般的にネットワークシミュレータではU-Planeの評価を行ってきた。これは、既存のネットワークサービスでは、U-Planeの通信が主体であり、C-PlaneのトラフィックはU-Planeのトラフィックと比較すると、無視可能なほど小さいためである。一方、本研究課題で着目するIoTデバイスなどは、頻繁には通信しない一方で、セウラーネットワークに接続される台数は、非常に多くなることが予想されている。さらに、U-Planeのトラフィック量は、C-Planeのトラフィックを無視

できないほど少なく、セルラーシステムの性能評価のためには、C-Plane の影響を適切に評価することが需要であることが判明した。

本課題では、セルラーネットワークに接続される IoT 機器が増加した場合、基地局と IoT 機器間のシグナリングが大きなボトルネックとなることをセルラーネットワークの仕様書である 3GPP の文章から明らかにした。具体的には、IoT 機器が基地局との通信機会を取得するためのアクセス手順と IoT 機器が基地局と接続した後に、通信に利用する帯域割り当てを要求する手順である。前者は、IoT 機器が増加した場合には、多くの IoT 機器からのアクセスが衝突することにより、多数の IoT 機器がセルラーネットワークにアクセスできなくなることを示していた。また、後者は、IoT 機器からの通信要求を処理するための無線リソースが無駄に利用されるだけでなく、不足することにより、多数の IoT 機器をセルラーネットワークに接続しつづけることが困難であることを明らかにした。

図 2 に本課題で拡張したネットワークシミュレータの通信シグナリングを示す。拡張した通信シグナリングでは、Random Access Preamble を用いたセルラーシステムへのアクセス権要求に伴う通信処理を追加することにより、アクセスが集中した場合の特性劣化を評価に含めている。また、Resource Allocation に関する通信処理を追加することにより、セルラーネットワークにアクセス中の IoT 機器が増加した場合には、アクセス管理用の無線リソースを利用するとともに、上限以上の IoT 機器がセルラーネットワークに接続することがないようにセルラーネットワークのリソースに応じた評価を実現している。

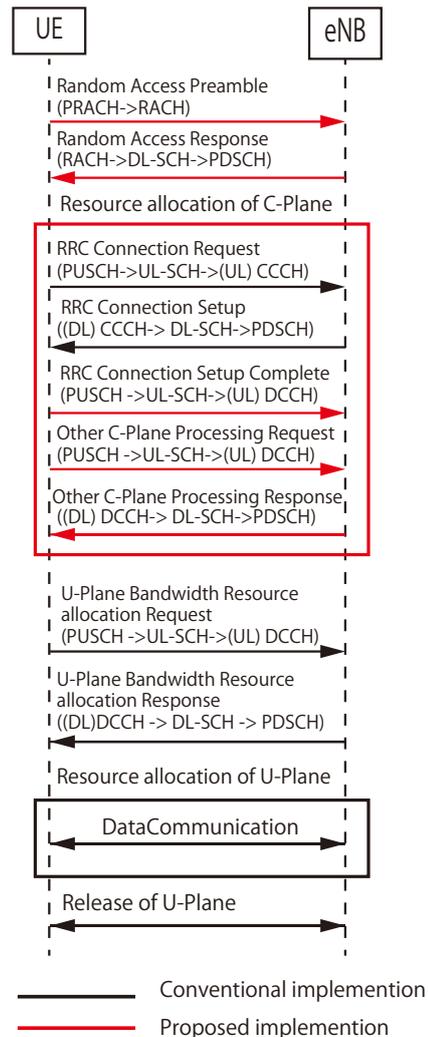


図 1 UE と eNB 間のシグナリング

## 課題 II. トラフィックの知的分類手法の開発

本課題では、今後 IoT 機器を利用する多岐にわたるサービスにより発生するトラフィックは、既存のトラフィックとは大きく異なると予想されることから、トラフィックを知的分類するための手法を開発するものである。

本課題では、IoT 機器の中でも、複数のサービスを提供可能なスマートスピーカーのトラフィック特性を、「小容量・持続的」(スマートアシスタントのための音声センシングなど)、「中容量・不定期」(インターネットを通じた検索など)、「大容量・不定期」(映像ストリーミングなど)の 3 種類に分類した。さらに、複数収集した時系列通信パターンを用いて機械学習によって分類器を作成し、未知の通信パターンが

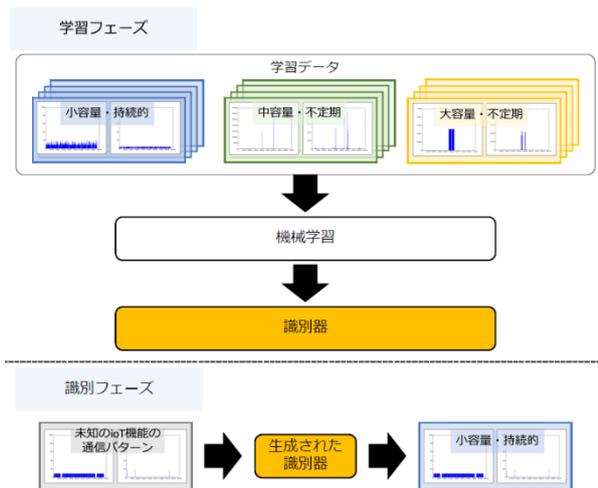


図 2 通信パターンの機械学習による分類

入力された際にトラフィック特性を自動分類する手法を提案した。通信パターンの特徴量として、通信量でクラスタリングした各クラスターの通信量の平均・標準偏差、通信タイミングの平均・標準偏差を採用した。

既存研究で公開されているスマートスピーカーの通信トラフィックデータセットを用いて精度評価を行った。機械学習には SVM を採用した。その結果、推定精度は 98.8% と高い精度を達成できた。

### 課題Ⅲ. トラフィック制御を支えるオーバーレイネットワークの開発

本課題では、スパイクトラフィックの発生を防ぐためには、同時刻、同一場所で発生しているトラフィックを時間および空間的に分散化させることが重要であることに起因しており、オーバーレイネットワークを IoT サービス層と IP 層の間に構築することにより、時間および空間的にトラフィックが分散したとしても、IoT サービス層の通信が影響を受けない仕組みを開発するものである。

本課題では、図に示す IoT 向けオーバーレイネットワークを実現することにより、既存のインターネットで想定される、グローバル IPv4 アドレス、グローバル IPv6 アドレス、プライベート IPv4 アドレスを利用する IoT 機器間の通信を保証することが可能となる。今後の IoT 機器は移動車両などをはじめとしたモビリティも想定されることから、開発するオーバーレイネットワークはモビリティプロトコルを拡張することにより設計を行った。モビリティプロトコルでは、機器間の通信を確立するためには、各機器のネットワーク仕様状況を把握する必要があり、開発方式においても、オーバーレイネットワーク用クラウドを準備することにより、各機器のネットワーク情報の管理を行う。なお、クラウドベースの IoT 機器の管理手法を既存技術として存在するが、開発方式では、実際の通信は機器間で直接通信が行われるのに対して、既存方式はクラウドを常に経由することが多く、クラウドに要求されるリソースが大きく異なるため、開発方式の方がより高い規模拡張性を有する設計となっている。

オーバーレイネットワークを構築するためには、IoT 機器とクラウド間および IoT 機器間の通信シグナリングの仕様を決定する必要がある。本課題では、図に代表される IoT 機器間の通信開始をするための通信シグナリングを設計するとともに、設計プロトコルの概念実証を行うためのプロトタイプを実証した。

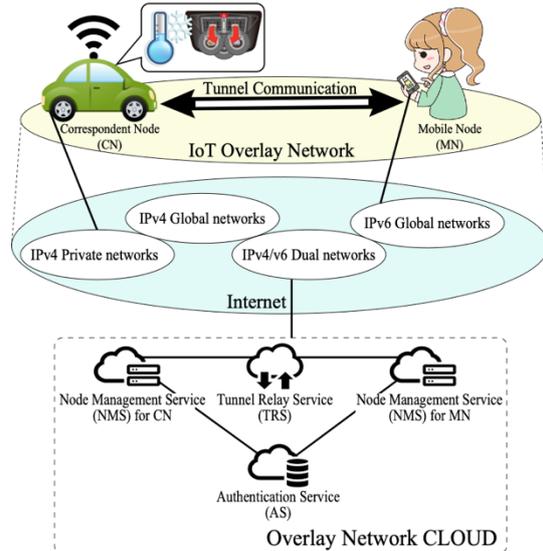


図 3 オーバレイネットワークの概要

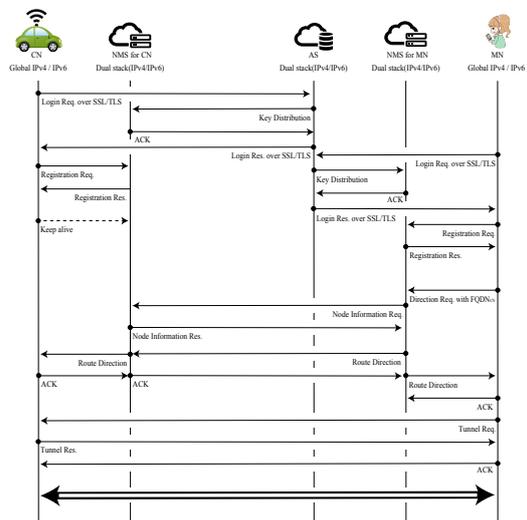


図 4 オーバレイネットワークのシグナリング

## 4. 研究成果

本研究課題の成果として、研究内容にも示した通り、セルラーネットワークシステムにおける IoT サービスを想定したシステム性能評価手法を新たに開発することにより、セルラーネットワークに IoT サービスが当てる影響を定量的に評価可能な枠組みを提案した。そして、これらの IoT サービスでは、今後様々なサービスが提案されることが予想されることから、既存のスマートスピーカーのトラフィックを分析することにより、同一 IoT 機器からのトラフィックを通信が持つ特徴量により分離するための基礎的な検討を進めてきた。さらに、IoT サービスが発生させるスパイクトラフィックがセルラーネットワークシステムの障害につながることを防ぐため、IoT サービスに影響を与えない、トラフィックの時間・空間方向の分散化手法を実現するオーバーレイネットワークの開発を進めてきた。オーバーレイネットワークを利用することにより、IoT サービス開発者はスパイクトラフィックを防ぐためのトラフィック制御を考慮せずにサービス実装を進めることが可能であり、IoT サービスを開発する上での実用性も高いと考えている。このように、本研究課題では、特にセルラーネットワークシステムの障害につながるスパイクトラフィックを知的に分散させるための枠組みを考える一方、分散処理により IoT サービスに影響を与えることを防ぐための基盤技術の開発も進めてきた。このような研究成果は、今後の IoT サービスの規模拡張性を維持する上での基礎的な技術であり、本研究課題の当初の目的は達成していると考えられる。

## 5. 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕 (計 16 件)

- (1) 安孫子 悠, 望月大輔, 齊藤隆仁, 片桐雅二, 池田大造, 水野忠則, 峰野博史, モバイルデータ負荷分散のための遅延耐性を考慮したハンドオーバー制御手法, (査読有), 電子情報通信学会論文誌, Vol. J102-B, No. 6, pp. 1-12 (2019.6).
- (2) Yuki Yamada, Toru Yoshizaki, Shinya Sugiura, Katsuhiro Naito, Proposal of digital bulletin board system among remote users, (査読有), RISP NCSP 2019.
- (3) Toru Yoshizaki, Yuki Yamada, Shinya Sugiura, Katsuhiro Naito, Proposal of automated direct communication scheme among smartphones based on BLE technology, (査読有), RISP NCSP 2019.
- (4) Naoki Yamamoto, Ayumu Kurata, Ryota Murate, Hiroto Mori, Kohei Tanaka, Katsuhiro Naito, Proposal of remote operation architecture of drone with an overlay network, (査読有), RISP NCSP 2019.
- (5) Naoki Yamamoto, Katsuhiro Naito, Proposal of continuous remote control architecture for drone operations, (査読有), KES IIMSS 2018.
- (6) Shunsuke Shibata, Katsuhiro Naito, Katsuhiko Kaji, Nobutaka Matsumoto, Takeshi Kitahara, Tadanori Mizuno, Design of performance evaluation scheme of LTE network for IoT traffic, (査読有), RISP NCSP 2018.
- (7) Katsuhiro Naito, Shunsuke Shibata, Katsuhiko Kaji, Nobutaka Matsumoto, Takeshi Kitahara, Tadanori Mizuno, Proposal of overlay network architecture supporting traffic offloading for IoT devices in LTE networks, (査読有), RISP NCSP 2018.
- (8) Yuya Miyazaki, Katsuhiro Naito, Hidekazu Suzuki and Akira Watanabe, Development of certificate based secure communication for Mobility and Connectivity protocol, (査読有), IEEE CCNC 2018 WiP.
- (9) Katsuhiro Naito, A Survey on the Internet-of-Things: Standards, Challenges and Future Prospects, (査読有), IPSJ Journal of Information Processing (JIP), Vol. 58, No. 1, January 2017.
- (10) Kohei Tanaka, Fumihito Sugihara, Katsuhiro Naito, Hidekazu Suzuki, Akira Watanabe, Design of an Application Based IP Mobility Scheme on Linux Systems, (査読有), International Journal of Informatics Society, vol.8, 2016.
- (11) Takamasa Mizukami, Katsuhiro Naito, Chiaki Doi, Ken Ohta, Hiroshi Inamura, Takaaki Hishida, and Tadanori Mizuno, Evaluation About the Feasibility of an Unconscious Participatory Sensing System with iOS Devices, (査読有), International Journal of Informatics Society, vol.8, 2016.
- (12) Tomoya Ogawa and Katsuhiro Naito, Development of multi-hop field sensor networks with Arduino board, (査読有), KES IIMSS 2016.
- (13) Takuya Wada and Katsuhiro Naito, Prototype implementation of actuator sensor network for agricultural usages, (査読有), KES IIMSS 2016.
- (14) Kohei Tanaka, Fumihito Sugihara, Katsuhiro Naito, Hidekazu Suzuki, and Akira Watanabe, Design of an application based IP mobility scheme on Linux systems, (査読有), IWIN 2015.
- (15) Fumihito Sugihara, Katsuhiro Naito, Hidekazu Suzuki, Akira Watanabe, Kazuo Mori, Hideo Kobayashi, Proposal of cooperative operation framework for M2M systems, (査読有), IEEE APWCS 2015.
- (16) Yuya Miyazaki, Fumihito Sugihara, Katsuhiro Naito, Hidekazu Suzuki, Akira Watanabe, Certificate based key exchange scheme for encrypted communication in NTMobile networks, (査読有), IEEE APWCS 2015.

### 〔学会発表〕 (計 4 件)

- (1) 丹羽美乃, 梶克彦, IoT デバイスの自動ネットワーク設定のための通信パターン分析, 情報処理学会研究報告 MBL, 2019-MBL-90(27), pp. 1-7, 2019.
- (2) 安孫子 悠, 望月大輔, 齊藤隆仁, 片桐雅二, 池田大造, 水野忠則, 峰野博史, 遅延耐性を考慮したハンドオーバー制御に基づくモバイルデータオフローディング手法の評価, Scenargie Workshop 2018 (2018.10).
- (3) 山田 悠生・内藤 克浩, BLE 通信技術を利用するバーチャル伝言板システムの提案, IPSJ MBL 研究会 (2018.5).
- (4) 吉崎 徹・内藤 克浩, BLE 通信を用いるスマートフォン OS 用マルチホップ通信技術の提案, IPSJ MBL 研究会 (2018.5).

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：峰野 博史

ローマ字氏名：(MINENO, hiroshi)

所属研究機関名：静岡大学

部局名：情報学部

職名：教授

研究者番号（8桁）：40359740

研究分担者氏名：梶 克彦

ローマ字氏名：(KAJI, katsuhiko)

所属研究機関名：愛知工業大学

部局名：情報科学部

職名：准教授

研究者番号（8桁）：40466412

研究分担者氏名：内藤 克浩

ローマ字氏名：(NAITO, katsuhiko)

所属研究機関名：愛知工業大学

部局名：情報科学部

職名：准教授

研究者番号（8桁）：80378314

※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。