

博士論文概要

論文題目

ネットワーク共有デバイスを用いた
Ephemeral CPS の構成法に関する研究

Study on Ephemeral CPS Construction
Using Shared Devices in the Network

申請者

野口	博史
Hirofumi	NOGUCHI

2019年12月

近年、IoT (Internet of Things)が世界的に急速な普及拡大を見せている。IoTとは、あらゆるモノをインターネットに接続し、それらが発信するデータを収集・分析し、最適な状態に導くようにフィードバックする一連のシステムである。家電や事務機器、自動車、製造機械、建設機械といった多様なデバイスがネットワークにつながり、経済発展と社会的課題の解決に向けた高価値なサービスが誕生し始めている。日本においても、政府主導のもと、Society 5.0が推進されており、交通、医療、介護、ものづくり、農業、食品、防災、エネルギーといった多岐の事業分野に渡って、サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させたシステムであるCPS (Cyber-Physical System)の研究開発、環境整備が進められている。また、サービスの提供形態や利用者の思想そのものが近年、大きく変わりつつある。モノからコトへの支払い、つまり、モノを所有するのではなく共用されたモノを一時的に利用するという考え方が主流になりつつある。このような背景のもと、IoTの進化の先には、多数のサービス事業者が、ネットワークにつながるデバイスとデータを共用してサービスを提供する“オープン IoT”が到来すると予想される。

本研究は、オープン IoT 時代に適した新たな CPS の形態として、「Ephemeral-Cyber-Physical System (E-CPS)」を提唱する。E-CPSとは、オープンIoTの前提に基づき、ネットワークに分散する共用デバイスを一時的に利用して、オンデマンドに構成するCPSである。情報通信サービスの主流であるクラウドサービスのように、迅速かつ高い経済性をもって実現される。一方で、共用デバイスを用いるという性質上、機能や性能、設置条件が多様なデバイスを動的に組み合わせるといふ、従来のCPSには無い重大な要件がある。

具体的には、CPSの基本動作である、環境からのデータ収集において、広域ネットワークに分散する大量のセンサが生成するデータから適切なものをリアルタイムに発見することが必要である。また、同じくCPSの基本動作である、環境への作用において、多数所有者がネットワークに接続した、多様なデバイスの機種を特定したうえで、それらを適切に制御して一体のシステムとして動作させることが必要である。情報通信システムやロボットのフレームワークは複数存在するが、いずれも事前に指定したデバイスを用いることが前提であり、デバイスとデータを動的に組み合わせる機能を有するものは皆無である。

本研究の目的は、このような革新的なシステムの設計指針を明確にし、実現に向けた構成法を確立することである。これまでの情報通信システム、ロボットの前提を大きく変える非常に挑戦的な課題を扱う。具体的には、大規模ネットワークからのデータ収集、通信情報分析によるデバイスの識別、および、多種多様なデバイスの自律制御について、IoT、CPSの必須構成要素である通信設備への実装を視野に入れた新たな手法を提案する。これらは、多様なサービスとデバイスに

対する汎用性と，サービス事業者に対する運用利便性を満足する手法である．試作システムを用いた評価実験により各手法の有効性を確認した．

本論文は 6 つの章で構成される．

第 1 章では，本研究を取り巻く技術的，社会的背景として，IoT に関する世界的な動向である，デバイス数とネットワークトラフィックの増加，日本における Society5.0 の取り組み，および，情報通信サービスを取り巻く社会的変化について述べる．さらに，IoT の将来予想として，複数のサービス事業者がネットワークを介してデバイスやデータを共有するオープン IoT を示し，オープン IoT 時代の新たな CPS の形態である，E-CPS を提案する．また，Society5.0 が対象とする事業分野における E-CPS の効用と，実現に要求される 8 つの要件(セキュリティ，信頼性，QoS，リアルタイム性，自律性，信頼性，頑強性，経済性)を整理した．そして，IoT，CPS に関する既存プラットフォームの分析から，E-CPS 実現に向けた不足点を明らかにし，本研究の目的を，E-CPS の構成法の確立と定めた．

第 2 章では，E-CPS のシステム構成と機能，および関連する既存技術の分析から，本研究が取り組む領域と技術課題を整理する．本研究の前提として，サービスとデバイスの種類に依存する固有機能と，デバイスやデータの選択・制御に関わる汎用機能を分離した E-CPS のシステム構成を提案する．さらに，ネットワークに接続された大量のデバイスとデータから，適切なものをリアルタイムに選択し，組み合わせるという E-CPS 独自の要件に注目し，関連する既存技術の現状から，本研究が取り組むべき課題を見極めた．結果として，大規模ネットワークにおけるリアルタイムデータ収集，ネットワークに接続された多種多様なデバイスの識別，および，多種多様なデバイスの自律制御を本研究で取り扱うべき課題として定めた．以降，第 3 章から第 5 章にかけて，各課題に対する取り組みを示す．

第 3 章では，技術課題の一つである，大規模ネットワークからのデータ収集に関する取り組みを示す．センサがリアルタイムに生成するデータをライブデータと名付け，広域に分散する大量のセンサから，特定のデータをリアルタイムに検索する手法を提案する．提案手法は，ローカルネットワークに分散配備されたコンピュータ上で検索処理を行うことで，IoT のデータ処理において問題となる，広域ネットワークへの大量トラフィックの発生を防止する．さらに，データ検索条件に対応するデータ分析ソフトウェアをローカルネットワーク内のコンピュータへ動的に配信することで，柔軟な検索条件への対応が可能である．情報通信インフラの主流であるクラウドコンピューティングと，近年注目を集めているエッジコンピューティングとの机上比較および，試作システムを用いた実験により，ネットワークトラフィック削減効果と検索時間を明らかにし，提案手法の有効性を示した．

第4章では、技術課題の一つである、ネットワークに接続された多種多様なデバイスの識別に関する取り組みを示す。性能や機能が異なる様々なIoTデバイスに適用するために、通信情報を分析して種類や機種を識別するアプローチを採用し、通信データの収集、通信特徴量の抽出、類似度の算出という3段階の処理で構成される手法を提案する。本手法は、デバイスの種類やネットワーク環境に応じて、個別に処理を拡張できることを特徴とし、多様なサービスやデバイスへの対応が容易である。ネットワークカメラを用いた実験および、工場模擬環境における実験により本手法の有効性を示した。また、IP通信に含まれる多数の情報の中から、デバイスごとに固有かつ、一貫性が高い情報を選定して識別に用いることも必要である。IP通信パケットのヘッダフィールドごとの識別への有用性を実験によって確認し、知見を示した。さらに、本手法の実装形態の一つである機械学習の適用について、実験により有効性を示した。

第5章では、技術課題の一つである、多種多様なデバイスの自律制御に関する取り組みを示す。ネットワークに接続された複数のデバイスを、サービス目的に応じて適切に制御する手法を提案する。本手法は、E-CPSにおける、多様な種類と設置条件のデバイスを扱うために機械学習を用いるアプローチをとる。機械学習は、センサが生成するデータから判断される環境情報と、その環境に応じた適切なデバイス制御値を統計的な計算処理によって直接結び付けることができるため、デバイスやサービスの性質を理解したうえでの制御則の設計が不要となる。提案手法は、環境内のセンサが生成するデータから、サービス目的の達成度合いをリアルタイムに算出し、その目標値を満たすデバイス制御値を機械学習と動的な調整によって導出する。シミュレーションと実機を用いた実験により、提案手法を用いることで、複数のセンサとアクチュエータが混在する環境において、サービス目的を達成する必要最小限のデバイス制御値を自律的に導出できることを示した。

最後に、第6章では、結論として本研究の成果と展望を示す。本研究の提案手法により、サービス事業者やデバイス提供者に煩雑な手順を要求することなく、多様なCPSを迅速、安価に提供することが可能になる。特に、システムのリアルタイム性については、秒単位の時間でデータ収集とデバイス制御が行えることを実験により確認している。今後の展望としては、AIと仮想化技術の適用による発展が考えられる。いずれも近年、研究開発が盛んな技術であり、提案手法の拡張と、デバイスやネットワークの共用に有力な技術である。さらに、研究成果の社会導入に向けた指針として、E-CPSを取り巻くエコシステムと研究成果の導入構想および、社会的背景から導かれるサービス展開と研究開発のロードマップを示す。

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

氏名 野口 博史 印

(2020年 2月 現在)

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
論文	<p>○ Ephemeral-Cyber-Physical System: A Cloud-Like CPS Using Shared Devices in Open IoT, IEEE Systems Journal, Hirofumi Noguchi, Shigeki Sugano (掲載決定)</p> <p>○ Device Identification Based on Communication Analysis for the Internet of Things, IEEE Access, vol. 7, pp. 52903-52912, Apr. 2019, Hirofumi Noguchi, Misao Kataoka, Yoji Yamato</p> <p>○ Distributed Search Architecture for Object Tracking in the Internet of Things, IEEE Access, vol. 6, pp. 60152-60159, Oct. 2018, Hirofumi Noguchi, Tatsuya Demizu, Misao Kataoka, Yoji Yamato</p>
講演 (査読 付き)	<p>Evaluation of a Realistic Example of Information-Centric Network Metadata Management, 2019 10th IEEE Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON), Oct. 2019, Tomoki Ito, Hirofumi Noguchi, Misao Kataoka, Takuma Isoda, Yoji Yamato, Tutomu Murase</p> <p>Network Architecture with Categorizing Metadata by Locality and Lifetime for IoT Database Management, 2018 21st International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC), pp. 177-181, Nov. 2018, Tomoki Ito, Misao Kataoka, Hirofumi Noguchi, Yoji Yamato, Tutomu Murase</p> <p>Transaction Offloading for Access Management to Live Data of IoT in Information-Centric Network, 2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), pp. 287-288, Oct. 2018, Tomoki Ito, Hirofumi Noguchi, Yoji Yamato, Tutomu Murase</p> <p>Data Management and Packet Transmission Method based on Receivers' Attributes, 2018 IEEE 4th World Forum on Internet of Things (WF-IoT), pp. 186-190, Feb. 2018, Tatsuya Demizu, Hirofumi Noguchi, Naoto Hoshikawa, Misao Kataoka, Yoji Yamato</p> <p>○ Autonomous Device Identification Architecture for Internet of Things, 2018 IEEE 4th World Forum on Internet of Things (WF-IoT), pp. 407-411, Feb. 2018, Hirofumi Noguchi, Tatsuya Demizu, Naoto Hoshikawa, Misao Kataoka, Yoji Yamato</p> <p>Tacit Computing and its Application for Open IoT Era, 2018 15th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), Jan. 2018, Misao Kataoka, Naoto Hoshikawa, Hirofumi Noguchi, Tatsuya Demizu, Yoji Yamato</p> <p>Distributed Live Data Search Architecture for Resource Discovery on Internet of Things, 2016 IEEE 3rd World Forum on Internet of Things (WF-IoT), pp. 591-596, Dec. 2016, Takashi Ikebe, Hirofumi Noguchi, Naoto Hoshikawa</p>
講演 (査読 無し)	<p>IoT データの重複を考慮した可用性向上手法, 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, 2019年9月, 片岡操, 野口博史</p> <p>通信分析と機械学習によるデバイス識別手法に関する検討, 電子情報通信学会 総合大会, 2019年3月, 野口博史, 片岡操, 磯田卓万, 山登庸次</p>

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
講演 (査読 無し)	<p>デバイスのサービス有効度を用いた最適配置選択方式, 電子情報通信学会 総合大会, 2019年3月, 片岡操, 野口博史, 磯田卓万, 山登庸次</p> <p>IoT デバイスのデータ処理におけるネットワーク上のリソース最適配置の提案, 電子情報通信学会 総合大会, 2019年3月, 磯田卓万, 野口博史, 片岡操, 山登庸次</p> <p>ICN における IoT メタデータ管理手法の実際的評価, 電子情報通信学会 情報ネットワーク研究会, 2019年3月, 伊藤智稀, 野口博史, 片岡操, 磯田卓万, 山登庸次, 村瀬勉</p> <p>DB更新負荷軽減のためのIoTデータ特性を考慮したメタデータ指向ネットワークアーキテクチャ, 電子情報通信学会 情報ネットワーク研究会, 2018年10月, 伊藤智稀, 片岡操, 野口博史, 山登庸次, 村瀬勉</p> <p>IoTデータのローカリティを考慮したメタデータ管理区別, 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, 2018年9月, 伊藤智稀, 片岡操, 野口博史, 山登庸次, 村瀬勉</p> <p>通信の類似性分析にもとづく IoT デバイス識別手法, 電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会, 2018年7月, 野口博史, 出水達也, 片岡操, 山登庸次</p> <p>ユーザー周辺環境のマルチコンピュータリソース活用に関する検討, 電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会, 2017年3月, 野口博史, 池邊隆, 佐々木潤子</p> <p>ネットワーク機能仮想化に向けた課題と目指す機能の検討, 電子情報通信学会 ネットワークソフトウェア研究会, 2017年1月, 野口博史, 日高直人, 浜田信, 森谷俊之</p> <p>Network-AI:さまざまなモノが賢くつながるネットワーク, 電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会 招待講演, 2016年9月, 池邊隆, 千川尚人, 野口博史</p> <p>クラウドインフラにおけるマルチホスト OS 設定管理方式, 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, 2016年9月, 野口博史, 森谷俊之</p> <p>順序保証と復旧処理を考慮した複数 VM 自動起動方式, 電子情報通信学会 総合大会, 2016年3月, 野口博史, 森谷俊之</p> <p>高可用ストリーミングサーバクラスタ構成方式に関する一検討, 電子情報通信学会 総合大会, 2015年3月, 野口博史, 藤岡幸, 福元健</p> <p>効率的なクラスタ運用を実現するプロセス配置方式, 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, 2014年9月, 野口博史, 小川泰文, 福元健</p> <p>広域ネットワークにおける高可用サーバクラスタ構成方式に関する一検討, 電子情報通信学会 総合大会, 2014年3月, 野口博史, 森谷俊之, 福元健</p>

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
その他 (特許)	<p>登録番号：特許第 6530353 号 名称：ライブデータ検索システムおよびライブデータ検索方法 発明者：池邊隆，野口博史</p> <p>登録番号；特許第 6495871 号 名称：リソース管理システム、リソース管理サーバ及びリソース管理方法 発明者：野口博史，森谷俊之</p> <p>登録番号：特許第 6383336 号 名称：サーバ管理装置およびサーバ管理方法 発明者：野口博史，福元健</p> <p>登録番号：特許第 6445985 号 名称：振分システム、振分装置、及び振分方法 発明者：出水達也，池邊隆，船田雅史，野口博史，梅川慎吾</p> <p>登録番号：特許第 6204287 号 名称：分散処理方法、処理サーバ、および、プログラム 発明者：北野雄大，小西啓介，徐広幸，外山篤史，藤岡幸，野口博史</p> <p>登録番号：特許第 6235973 号 名称：サーバ 発明者：野口博史</p> <p>登録番号：特許第 6343241 号 名称：ストリーミングサーバクラスタおよびそのストリーミング制御方法 発明者：野口博史，福元健，藤岡幸，樫本義文</p> <p>登録番号：特許第 6251203 号 名称：ストリーミングデータ配信システム、及び、ストリーミングデータ配信方法 発明者：藤岡幸，野口博史，金子雅志，福元健</p> <p>登録番号：特許第 5848743 号 名称：クラスタシステム 発明者：野口博史，岩佐絵里子</p> <p>登録番号：特許第 6093319 号 名称：クラスタシステム 発明者：野口博史，福元健，堀米紀貴，小川泰文，大谷育生</p> <p>登録番号：特許第 5932875 号 名称：サーバ装置およびプログラム 発明者：金子雅志，野口博史</p>