

分散型情報流通プラットフォーム向けの アクセス管理を想定したサービス設計機能の研究

B23712 鈴木健介 指導教員 内藤克浩

キーワード: information-flow, IoT, InfoFlow, distributed-computing

1 はじめに

IoT の普及は人々の生活を豊かにし、日常に大きな変化をもたらしている。IoT サービスは従来のクラウド型からリアルタイム情報を活用する形へと進化している。このような背景の中で、リアルタイム情報を蓄積せず流通させ、一次、二次、三次利用を通じて新たな知見を生む「情報流」が提唱されている [1]。しかし、情報流のプラットフォームは整備不足であり、実装面の課題も多い。

そこで、本研究室では、情報流と分散処理を組み合わせた分散処理型情報流通基盤「InfoFlow」を提案・開発している [2]。InfoFlow はクラウド機構とエッジ機構から構成され、クラウド機構がユーザ、デバイス、サービスを管理し、エッジ機構は分散サービスルールに従ってサービスを構成する一部の処理を担当する。ユーザは、IoT サービス全体の構成要素をまとめた「サービス設計図」を作成し、クラウドへサービス構築を依頼し、分散デバイスを組み合わせることで IoT サービスを実現する。ただし、Web User Interface (WebUI) 上で多様なデバイス情報を一元的に扱い、適切に組み合わせる仕組みは十分とは言えず、一部エッジデバイスの公開データには不正利用リスクも懸念される。

本研究では、分散処理を念頭においたサービス構築を支援するサービス設計ツールとサービス分割手法及びデバイスへのアクセス管理手法を提案する。提案ツールでは、WebUI を用いて IoT デバイスを視覚的に接続し、設計図通りにサービスを構築可能とする。IoT サービス構築時には、多数のデバイスを組み合わせ、多彩なサービスが同時に作成される可能性があるため、サービスごとの自動分割を実現する。また、組織利用を想定したオーガナイズーション管理とアクセス制御を組み合わせることで、情報や処理機能の公開・非公開を柔軟に選択し、セキュアなサービス設計を実現する。検証評価では、提案システムが幅広いパターンの処理を組み合わせたサービス構築をサポートし、多様な IoT サービスシナリオに対応する柔軟性と有効性を示す。

2 InfoFlow

InfoFlow は、IoT デバイス間でリアルタイムな情報流を実現し、分散処理を可能にする。ユーザは複数のデバイスから得られるデータを組み合わせ、カスタマイズされた IoT サービスを構築可能である。本システムは「InfoFlow Node」と「InfoFlow Cloud」の2つのコンポーネントで構成される。InfoFlow Node は Raspberry Pi や PC などのエッジデバイス上で動作し、センサやアクチュエータを搭載可能である。また、

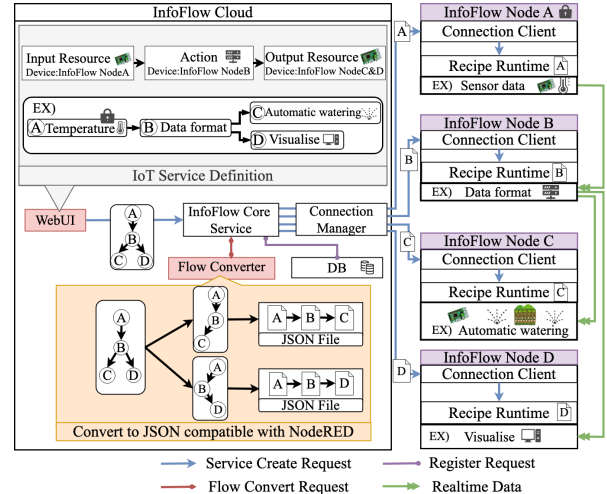


図 1: Proposed system

多種多様な情報流通を想定する InfoFlow では、さまざまな通信方式やデバイスとの連携が求められる。そこで、高い拡張性と汎用性を備える実行環境として Node-RED を採用し、複数の通信プロトコルや多様なデバイスへの対応を実現している。InfoFlow Cloud はノード、ユーザ、IoT サービスを管理し、分散ノードへの設定機能を提供する。WebUI によるユーザ登録と認証、デバイス所有権と接続状況の追跡、JSON 設計文書による IoT サービスの管理などをサポートしている。

3 InfoFlow のサービス設計及び管理機能

本研究では、分散処理を念頭においたサービス構築を支援するサービス設計ツールとサービス分割手法及びデバイスへのアクセス管理手法の提案をする。図 1 に提案するシステムモデルを表す。

3.1 サービス設計ツール及びサービス分割機能

提案システムでは、サービス設計の抽象化と再利用性を高めるため、「アクション」と「リソース」概念を導入する。アクション (Action) はデバイスの開始・停止・データ変換などの処理活動を示し、リソースはセンサやアクチュエータなどの実世界との入出力要素 (InputResource, OutputResource) を指す。従来はデバイスごとに細かな設定や挙動を理解する必要があり、サービス規模が拡大するほど設計が複雑化する課題があった。そこで、デバイス固有の処理をアクションとして抽象化し、入出力をリソースとして定義することで、複雑なデバイス仕様にとらわれずサービスを設計可能である。さらに、アクションとリソースは再利用可能なコンポーネントであり、異なるシーンやデバイス間でも容易に流用可能となる。

- 直感的なサービス設計ツール機能

フローベースでプログラミングを行う UI を提供し、デバイスの処理アクティビティやセンサ・アクチュエータを視覚的に組み合わせることで、複数のサービス設計図を同時に定義可能である。

- サービス分割機能

提案システムでは、定義済みのサービスを複数の InfoFlow Node へ割り当てるため、内部的にグラフ理論を用いた分割手法を適用する。具体的には、一連のサービスを有向グラフとみなし、始点 (InputResource) から終点 (OutputResource) までを木構造で表し、DFS (Depth-First Search) で全ノードを走査し、サブフローを列挙・分割する。DFS では、始点ノードから深さ優先で辿り、末端に至るたびサブフローを確定する。再帰的にバックトラックしつつ全未訪問ノードを探索し、すべてのサブフローを列挙する。各サブフローは Node-RED 互換の設計書として個別に生成され、担当 Node へ配信される。よって、一つのサービスが複数デバイスにまたがる場合でも、自動で処理を割り振り、柔軟な分散処理を実現可能である。

- Node-RED 互換の設計書への変換

WebUI で定義されたサービスはサービス設計図としてまとめられ、Node-RED 互換の JSON 形式に変換される。InfoFlow Node は、入力 (センシング)、データ混合 (プロセッシング)、出力 (アクチュエーティング) といったノード単位の処理を自動的に読み込み、ユーザがハードウェアの詳細を意識することなく分散サービスを構築可能である。

3.2 アクセス管理機能

サービスを構成する InputResource, OutputResource, Action などの要素に対して、公開・非公開や組織メンバー限定などの権限設定を行う。さらに、オーガナイズーション機能を導入することで、組織での利用を可能とし、特定の人だけに要素の共有を可能とする。これにより、不特定多数からのデバイス機能の無断利用を防ぎつつ、同一基盤上に多様なサービスを同時稼働させることが可能となる。

4 評価

表 1 に示す環境を用いて、動作検証と性能評価を行った。InfoFlow クラウドには標準的な PC を用い、3 台の Raspberry Pi 4 (温度センサーとモニター搭載) で実機および仮想環境を用いたテストを実施した。動作検証では、温度情報を表示する IoT サービスを開発・設定し、モニター上での動作を確認した。その結果、WebUI を用いた分散 IoT サービスの構築が可能であり、アクションとリソースを多様に組み合わせられることが示された。

表 1: Specifications of the measuring devices

InfoFlow Cloud	
OS	Linux Ubuntu 22.04 LTS
CPU	i9-10900K CPU@3.70GHz 10 Core
Memory	64GB RAM
InfoFlow Node (Actual machine)	
Machine	Raspberry Pi 4 Model B
OS	Raspbian GNU/Linux 11.5
CPU	Broadcom BCM2711 4Core 1.5GHz
Memory	4GB RAM
InfoFlow Node (Virtualization host hardware)	
OS	Linux Ubuntu 22.04 LTS
CPU	i9-10900K CPU@3.70GHz 10 Core
Memory	64GB RAM

性能評価では、サービス開発から InfoFlow ノード間の設定反映と情報流通に要する時間を測定した。アクションとリソースの組み合わせを変化させた結果、3 台のデバイス (1 アクション, 2 リソース) で合計 12.3ms (デプロイ 9.2ms, 情報流通時間 3.1ms), 10 台 (6 アクション, 4 リソース) で 31.2ms(24.5ms, 情報流通時間 6.7ms), 50 台 (42 アクション, 8 リソース) で 74.3ms(54.1ms, 情報流通時間 20.2ms) を要した。これらの結果から、一般的な IoT サービス構築を十分に支援可能であり実用性と汎用性が確認された。

5 まとめ

本研究では、分散処理を念頭においたサービス構築を支援するサービス設計ツールとサービス分割手法及びデバイスへのアクセス管理手法の提案をした。実験結果は、様々な処理パターンをサポートするツールの汎用性及びサービスの自動分割を確認し、多様な IoT シナリオでリアルタイムの情報活用の有効性を示した。

研究業績

- K. Suzuki, et al.: “Design for building distributed processing IoT services with InfoFlow,” *2024 IEEE 13th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*, October 2024.

参考文献

- [1] K. Yasumoto, H. Yamaguchi, and H. Shigeno, “Survey of real-time processing technologies of iot data streams,” *Journal of Information Processing*, vol. 24, no. 2, pp. 195–202, 2016.
- [2] T. Sakai, K. Hata, T. Wada, and K. Naito, “Iot platform using information flow to reduce load on cloud,” in *2022 IEEE 46th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC)*, pp. 1211–1216, 2022.