

# ROS 準拠センサロボットを用いた IoT システムの構築と通信性能の評価

理学専攻・情報科学コース 佐々木 怜名

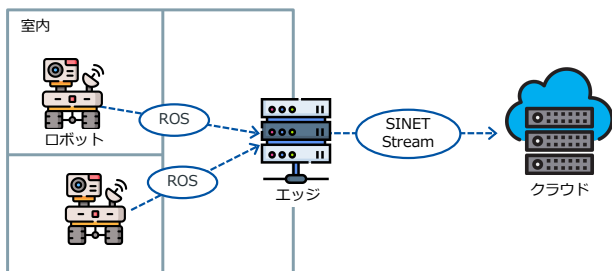


図 1: 提案する IoT システムの概要

## 1 はじめに

ネットワークに接続した家電や住宅設備などの IoT 機器を活用して、防犯サービスやペット・お年寄りの見守りサービスや家電の省電力化管理、温度、湿度等の室内生活環境の監視などを行う、スマートホームと呼ばれるサービスの普及が期待されている。しかし、スマートホームでは、ネットワークに接続したセンサデバイスを空間内に分散して配置し、センサデータを収集する必要があるが、個別の間取りを考慮したり、必要に応じて IoT 機器を再配置しなければならない。センサから得られる情報は大量のストリームデータであり、遠隔のクラウドへ送信すると、応答時間や通信量が大幅に増大する。個々の家庭で収集したデータをクラウドに送信し解析処理を行うシステムを構築するためには、必要に応じて転送データ量を削減する必要がある。また、個人に関わるデータを収集するため、プライバシーの保護への配慮やサイバー攻撃への対策も必要である。

本研究では、性能、プライバシー保護、セキュリティ対策を考慮した、スマートホームのためのロボットを活用した IoT システムの構築を目指す。ロボットを活用したスマートホームアプリケーションの実装に向けて、センサロボットを室内空間で走行させ、任意の場所の CO<sub>2</sub> 濃度を監視・リアルタイムで可視化するシステムを試作し、センサロボットを用いたスマートホームアプリケーションの有効性を示す。スマートホームのための IoT システムにおける技術的課題を明らかにするため、異なるメッセージサイズの転送時における通信時間とスループットを、通信環境を変化させて計測し、その性能特性を明らかにする。

## 2 提案する IoT システムの概要

本研究では、ROS で実装された車輪型移動ロボットをセンサ端末とし、エッジ、クラウドサーバで構成される IoT システムを構築する。図 1 に提案する IoT システムの概要を示す。屋内を移動する複数センサロボットから収集されるセンサデータをエッジに集約し、エッジからクラウドサーバに集約したデータを送信する。エッジでは、収集したセンサデータの間引き、匿名化等のフィルタ処理を行うとともに、グローバルネットワークから室内ネットワークを分離する役割も担う。センサロボットとエッジ間は室内 Wi-Fi で接続し、ROS でデータ通信を行う。エッジとクラウドサーバ間は MQTT 等の IoT における標準的な通信プロトコルを用い、通信

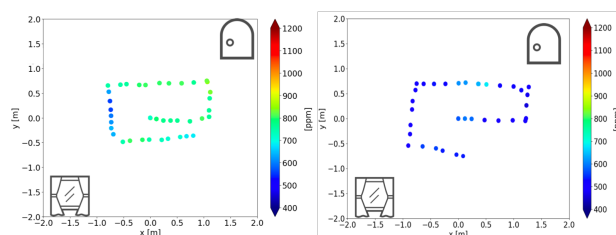


図 2: 換気前

図 3: 換気後

プロトコル層を抽象化する SINETStream[1] で実装する。ROS は、ロボットアプリケーションに広く用いられるオープンソースのミドルウェアであるが、TCP をベースとした独自の通信プロトコルによってメッセージ通信を行っており、メッセージの到達時間を保証する仕組みが存在せず、リアルタイム性を考慮していない。この問題を解決するため、ROS 2[2] が開発されている。リアルタイム性を確保するため、通信ミドルウェアに DDS (Data Distribution Service) が採用されている。

## 3 IoT システムの実装

### 3.1 CO<sub>2</sub> 濃度リアルタイム可視化アプリケーションの試作

ロボットを活用したスマートホームアプリケーションとして、室内環境でセンサロボットの遠隔操作を行いながら環境情報を収集し、収集データをリアルタイムで可視化するシステムを試作した。試作したシステムでは、センサロボットで収集した環境情報から CO<sub>2</sub> 濃度値を抽出し、その値を位置情報と照合して 2 次元のヒートマップを作成する。

図 2, 図 3 に車輪型センサロボットで観測した CO<sub>2</sub> 濃度を可視化したヒートマップを示す。換気前と比較して換気後の CO<sub>2</sub> 濃度の数値が減少していることがわかる。固定されたセンサの場合は、室内に複数のセンサを設置しなければ室内全体の CO<sub>2</sub> 濃度を把握することができないが、1つのセンサを搭載したロボットを活用して、任意の場所に観測点を動かすことで、室内の CO<sub>2</sub> 濃度を面で把握することができ、ロボットセンサを利用した IoT システムの有用性が確認できた。

## 4 性能評価

### 4.1 ROS 通信と ROS 2 通信の比較

センサロボットの使用機器を Raspberry Pi, ライブラリを C++, 通信環境を Wired に設定して、ROS 通信と ROS 2 通信の片道通信時間を測定した。図 4 より、センサロボットとエッジ間の片道通信時間は、メッセージサイズが大きくなるほど、ROS 通信と ROS 2 通信の中央値の差が広がることがわかる。本実験で使用する DDS には、Fast DDS を用いている。Fast DDS では、トピックデータのメッセージサイズが 64KB より大きい場合フラグメンテーションが発生する。そのため、64KB と 128KB のとき ROS 通信より ROS 2 通信の中央値が大きくなると予想される。64KB と 128KB

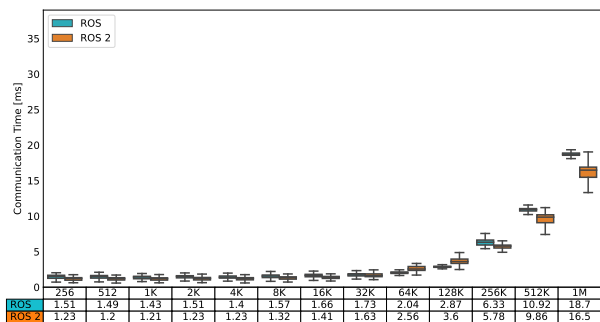


図 4: ROS 通信と ROS 2 通信の通信時間の比較: メッセージサイズが 256B から 1MB の時

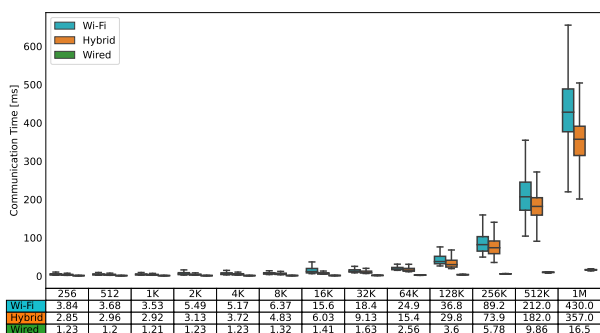


図 5: 通信環境 (Wi-Fi, Hybrid, Wired) の比較: メッセージサイズが 256B から 1MB の時

以外のメッセージサイズの時、ROS 通信より ROS 2 通信の方が通信時間が短いのは、ROS 通信は TCP ベースであるのに対して ROS 2 通信には UDP が用いられている影響が強いと考えられる。したがって、画像や LiDAR ポイントクラウドデータなどのメッセージサイズが大きいデータを扱うアプリケーションの場合、通信性能の面で、ROS よりも ROS 2 が適していると考えられる。

#### 4.2 通信環境 (Wi-Fi, Hybrid, Wired) の比較

センサロボットの使用機器を Raspberry Pi, ライブラリを C++ として、Wi-Fi, Hybrid, Wired のそれぞれの通信環境での ROS 2 通信の片道通信時間を測定した。図 5 より、また、メッセージサイズが大きいほど通信時間が長くなり、Wi-Fi と Hybrid では 512KB 以上のところで通信時間の中央値が 100ms を超える。すなわち、100ms 以内の応答時間を期待するリアルタイム処理ができないことを示している。スマートホームでセンサロボットを使用するとき、小型計算機を利用したセンサロボットは Wi-Fi に接続することが想定されるため、リアルタイム性を要求する処理では通信性能がボトルネックになることが予想される。

#### 4.3 Kafka を用いたエッジ-クラウド間の通信性能評価

図 6 より、エッジクラウド間の往復 Kafka 通信時間はメッセージサイズが 256KB より大きいときに急激に増加している。この通信時間にはクラウドでの Kafka ブローカ処理時間が含まれているため、メッセージサイズが大きくなったときの Kafka ブローカ処理オーバーヘッドおよびジッターが大きくなっていることが推測される。

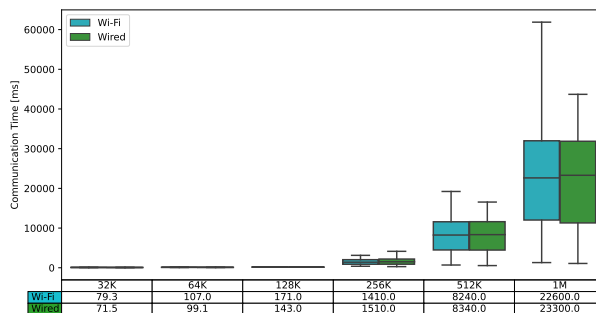


図 6: エッジとクラウド間の往復 Kafka 通信時間の分布: メッセージサイズが 32KB から 1M の時

## 5 まとめと今後の課題

センサが搭載された車輪型移動ロボットを用いて任意の空間で動的に環境情報を収集し、エッジを介してクラウドで解析処理を行う、スマートホームのための IoT システムを試作するとともに、一般的なスマートホームアプリケーションにおける通信性能要件を調査した。センサロボットを活用した一般的なスマートホームにおける技術的課題を明らかにするため、センサロボットとエッジ間の ROS / ROS 2 通信、エッジとクラウド間の Kafka での通信の性能を調査した。実験から、ROS より ROS 2 の方が通信性能が良いこと、Wi-Fi 接続で利用するセンサロボットでリアルタイム性が要求される処理を行う場合は通信性能が課題となることがわかった。また、エッジとクラウド間でメッセージサイズが大きいデータを送信するときには、メッセージブローカの処理性能の劣化が応答時間に影響を与えることがわかった。

今後の課題は、センサロボットとエッジ間の ROS 2 通信において、DDS の実装や QoS の設定を変化させて通信性能の比較を行う。エッジとクラウド間の通信において、複数ブローカの性能特性の比較も行う。また、効率的な環境情報収集に向けて、複数センサロボットの適切な制御方法を検討する。

## 謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP19H04089 及び 2023 年度国立情報学研究所公募型共同研究 (2023-23S0205) の助成を受けたものです。また、本研究成果はデータ活用社会創成プラットフォーム mdx を利用して得られたものです。

## 参考文献

- [1] Atsuko Takefusa, Jingtao Sun, Ikki Fujiwara, Hiroshi Yoshida, Kento Aida, and Calton Pu. SINETStream: Enabling Research IoT Applications with portability, security and performance requirements. In *Proc. COMPSAC 2021*, pages 482–492, 2021.
- [2] Steven Macenski, Tully Foote, Brian Gerkey, Chris Lalancette Lalancette, and William Woodall. Robot operating system 2: Design, architecture, and uses in the wild. *Science Robotics*, 7(66):eabm6074, 2022.