

## カメラと低消費電力エッジデバイスによるゴミ自動検出システムの評価 Evaluation of Automatic Garbage Detection System Using Camera-Based Low-Power Edge Device

阿部 竜弥<sup>1)</sup> 富田 紘健<sup>1)</sup> 本間 翔太<sup>1)</sup> 鈴木 秀和<sup>2)</sup>  
Tatsuya Abe Hirotake Tomita Shota Homma Hidekazu Suzuki

### 1 はじめに

日本における家庭ゴミの収集事業は、住民の生活を支える重要な社会基盤である。多くの自治体では、複数世帯がゴミ集積所を共同利用する集団回収方式が採用されている。このようなゴミ収集方式において、ゴミ集積所でのゴミ滞留状況に関するデータは、地域住民からの問い合わせ対応時間の短縮やゴミ回収業務の効率化など、多岐にわたる利活用の可能性を秘めている。

筆者らは、ゴミ集積所にカメラを搭載した低電力エッジ AI デバイスを設置し、軽量な物体検出アルゴリズムを組み合わせることにより、ゴミの排出・回収時刻やゴミ袋の個数を動的に収集するシステムを提案している [1]。本稿では、このゴミ自動検出システムの実装概要を示し、処理時間および消費電力量について評価する。

### 2 関連研究

海外では蓋付きのゴミ箱に超音波センサを設置し、ゴミの量をセンシングするソリューションが多く提案されている [2]。一方、日本のゴミ集積所の形状は多様であるため、距離センサを使った手法を直接適用することができない。

D. Yu らは、CCTV の映像から YOLOv4 を用いてゴミと投棄者を検出し、ゴミと投棄者の距離に基づいて不法投棄を検出する手法を提案している [3]。このシステムでは、物体検出および距離の計算をビデオフレーム毎に行うため、計算コストが高いことが懸念される。

### 3 提案システム

本研究では、ゴミ集積所にエッジデバイスとカメラを設置し、ゴミの状況を効率的にモニタリングするシステムを構築する。図1に筆者らが提案しているシステムの全体構成を示す。カメラはゴミが投棄される範囲全体を撮影可能な位置に設置し、以下の手順で動作する。

1. エッジデバイス起動時に、カメラがゴミ集積所の画像を撮影する。
2. 撮影された画像はエッジデバイス上に搭載された物体検出ニューラルネットワークで処理され、ゴミの有無およびゴミ袋の個数が判定される。
3. 判定結果と日時情報がクラウドサーバへ送信される。
4. クラウドサーバから次回起動までのスリープ時間が通知され、それに基づきエッジデバイスは低消費電力モードへ移行する。

上記の間欠動作を繰り返すことにより、ゴミ集積所の状況を継続的かつ効率的にモニタリングすることが可能

- 1) 名城大学大学院理工学研究科 Graduate School of Science and Technology, Meijo University
- 2) 名城大学情報工学部 Faculty of Information Engineering, Meijo University

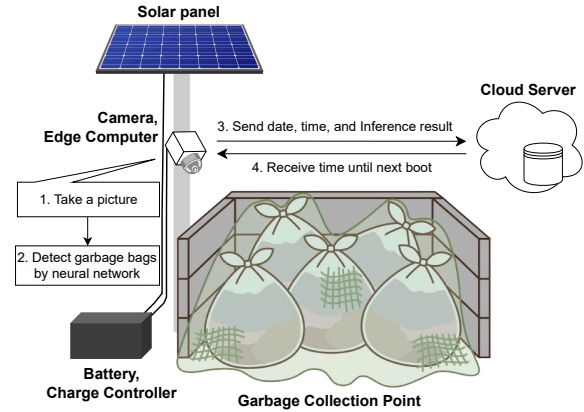


図1 検討システムの概要

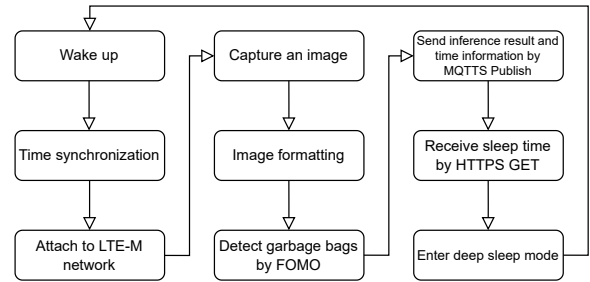


図2 システムの動作フロー

となる。また、本システムではセンシング間隔をクラウドサーバ側で動的に制御する機能を備えている。この機能により、例えばゴミ回収が行われる時間帯にはセンシング頻度を高め、リアルタイムで詳細な情報を取得することができる。一方で、深夜などリアルタイム性が求められない時間帯にはセンシング頻度を低下させることにより、電力消費を抑えつつ効率的な運用が可能となる。なお、このシステムは屋外に設置するため、電源はバッテリーを使用し、太陽光発電によってバッテリーを給電する。

### 4 実装

図2に実装したシステムの動作フローを示す。

#### 4.1 エッジデバイス

SONY 社製の Spresense のメインボード、LTE 拡張ボードおよびカメラモジュールを用いてエッジデバイスを実装した。Spresense は、低消費電力かつ高性能な IoT 向け CXD5602 プロセッサを内蔵しており、IoT アプリケーションに適したプラットフォームである。メインボードは 8MB のフラッシュメモリと 1.5MB の SRAM を搭載している。カメラモジュールには、逆光や夜間などの暗所環境にも対応可能な Spresense HDR カメラボードを採用した。この選定により、様々な照明条件下での安定した画像取得が可能となる。

表1 処理時間 [s]

	LTE 接続	MQTT 通信	HTTP 通信	推論	全体
最小値	4.57	13.39	7.84	2.51	34.37
中央値	5.16	13.57	8.06	2.51	35.15
平均値	10.02	13.87	8.75	2.51	40.98
最大値	30.87	20.87	20.59	2.51	61.45

表2 システムの平均消費電力

動作時	74.5 [W]
スリープ時	48.0 [mW]

## 4.2 時刻同期および通信モジュール

時刻同期には、メインボードに搭載されている GPS チップアンテナを利用し、時刻情報を GNSS (Global Navigation Satellite System) から取得して RTC (Real-Time Clock) に保持する仕組みを採用した。

通信手段は LTE-M を採用した。ゴミ判定結果や日時情報は MQTT (Message Queuing Telemetry Transport Secure) プロトコルでクラウドサーバへ送信し、次回起動までのスリープ時間は HTTPS による GET メソッドでサーバから取得する。

## 4.3 ゴミ袋の検出方法

エッジデバイスのメモリ制約を考慮し、軽量の物体検出アルゴリズムである FOMO (Faster Objects, More Objects) を採用した。FOMO では、MobileNetV2 の初期層を特徴抽出器として利用し、入力画像から  $n \times n$  の特徴グリッドを生成する。各特徴グリッドに対して分類を行い、同一オブジェクトに属する予測値をクラスタリングすることにより、物体の重心位置を推定する仕組みである。

## 4.4 スリープ機能

システムは動作後、Deep Sleep モードに遷移する。Deep Sleep モードではメインプロセッサの電源はオフとなり、Power Management IC のみ通電する状態となり、待機時の消費電力を低く抑えられる。

## 4.5 1日における動作スケジュールの設定

愛知県日進市におけるゴミ回収は、午前8時半から午後4時にかけて行われる。自治体職員へのヒアリングに基づき、午前7時半から午後5時にかけては5分間隔、それ以外は30分間隔でセンシングを行うように設定した。

## 5 評価

### 5.1 処理時間

1回のセンシング動作に要する処理時間を評価した。測定対象は起動からスリープ状態に遷移するまでの処理全体に加え、LTE-M ネットワークへの接続に要する時間、MQTT 通信で推論結果を送信するのに要する時間、HTTPS GET メソッドを送信してスリープ時刻を取得するのに要する時間、推論に要する時間をそれぞれ計測した。表1に処理時間を100回計測した結果を示す。処理全体に要する時間は、平均が40.98秒、最大が61.45秒となった。よって、動作スケジュールで定めた最短5分間隔での動作が可能である。

### 5.2 消費電力量の評価

高性能 USB 充電チェッカー SD-WWC01 を用いてシステムの稼働時およびスリープ時における消費電力を測定した。表2に100回計測した消費電力の平均値を示す。

表3 各バッテリーにおける連続稼働可能な無日照日数

型番	WP1.2-12	WP2.6-12	WP5-12
サイズ [mm]	97x43x53	178x34x60	90x70x101.5
容量 [Ah]	0.7	1.2	5.0
電圧 [V]	12.0	12.0	12.0
無日照動作日数 [日]	3.6	7.9	15.2

## 5.3 連続無日照動作日数

システムの平均処理時間、消費電力、動作スケジュールを用いて、1日あたりの消費電力量を算出した結果、約2.67[Wh]となった。KUNG LONG 社製の密閉型鉛蓄電池に対し、算出した1日あたりの消費電力量を用いて各バッテリー容量における連続無日照動作日数を算出した。なお、バッテリーの放電深度は80%、バッテリーからエッジコンピュータに給電する際の電力の変換効率率は85%として計算している。表3に算出結果を示す。小型の鉛蓄電池でも約3日から15日の無日照期間があっても、システムが稼働できることがわかった。

## 5.4 処理時間および消費電力の削減に関する考察

現在の実装では、Spresense は常に156[MHz] のクロック周波数で動作しているが、処理内容に応じてクロック周波数を動的に最適化することで、処理速度を維持しつつ、消費電力量を削減できる可能性がある。

また、現在の実装で使用している Deep Sleep モードは、LTE-M ネットワークへの接続に関するコンテキストを保存しないため、毎起動後に再接続を行う必要がある。LTE ハイバネーション機能を用いて LTE 接続に関するコンテキストを保存できれば、再接続時に復元することで接続に要する時間を短縮し、かつ消費電力量を削減できる可能性がある。

## 6 まとめ

本稿では、カメラと低消費電力エッジデバイスを用いたゴミ袋検出システムの実装について概説し、システムにおける処理時間および消費電力に関する評価を行った。その結果、要求仕様を満たす頻度でのセンシングが十分に可能であり、消費電力は小型のバッテリーでも継続的に稼働できることを確認した。

今後はシステムを改善し、実際に使用されているゴミ集積所に設置してフィールド実験を行う予定である。

### 謝辞

本研究にご協力いただいた日進市役所生活安全全部環境課の関係各位に感謝する。

### 参考文献

- [1] T. Abe, Y. Kunieda and H. Suzuki, "Implementation of Smart Garbage Detection System Using Camera-Based Low-Power Edge AI Device," in *Proc. of 2025 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, pp. 1-5, 2025.
- [2] S. D. Vijayakumar, G. Vijayakumari, R. Praveenkumar, G. Brinda, T. Velmurugan, and G. Sekar, "Smart systems for effective garbage handling in urban waste management," in *Proc. of 2025 International Conference on Multi-Agent Systems for Collaborative Intelligence (ICMSCI)*, pp. 748-753, 2025.
- [3] D. Yu, J. Yoon, and Y. Lee, "Detection and register of illegal garbage dumping action using the consecutive processing and embedded-nas," in *Proc. of 2024 IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS)*, pp. 1-8, 2024.