

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：32506

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K17735

研究課題名（和文）Study on an intelligent sensing system for fine-grained data of urban garbage discharge

研究課題名（英文）Study on an intelligent sensing system for fine-grained data of urban garbage discharge

研究代表者

陳寅（Yin, Chen）

麗澤大学・工学部・准教授

研究者番号：60773124

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：この研究開発では、ごみ清掃車を利用して町のごみ排出量を効率的に収集・分析するシステムを作りました。具体的には以下のことを行いました。1) 清掃車に搭載可能なデバイスで、ごみ袋の数を自動で数えるアルゴリズムを開発しました。2) このデバイスを複数の自治体に導入し、システムの効果を検証しました。3) 収集したデータを分析し、予測や収集地図を作成する基盤を構築しました。4) 学術論文を発表し、複数の自治体で実際に導入を進めました。これにより、町のごみ管理を効率化する新しいシステムを実現しました。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術研究について、本研究は車の移動力、データとそれに設置したエッジデバイスを活かした高次元の生データ処理を実践したセンシングシステムの日本初の研究開発であり、関連分野の研究開発を大きく推進したと言える。

社会的意義としては、本研究開発は日本の都市部における排出量をより精度高く、かつより精緻に把握可能となり、地方自治体のエビデンスベースのごみ排出管理行政業務を大きく推進させる。又、得られたごみ排出量データは都市計画、廃棄物処理などの関連分野に学術的・実用的価値の高いデータを提供でき、その分野の発展につながる。

研究成果の概要（英文）：This research and development project aimed to create an efficient system for collecting and analyzing waste discharge data in towns using garbage trucks. Specifically, we accomplished the following: 1) Developed an algorithm to automatically count garbage bags using a device with a GPU that can be mounted on garbage trucks. 2) Deployed these devices in multiple municipalities to verify the system's effectiveness. 3) Built a platform for analyzing collected data, including forecasting waste discharge and creating collection maps. 4) Published academic papers and advanced the practical implementation in several municipalities. Through this, we established a new system to improve the efficiency of waste management in towns.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：情報ネットワーク

### 1. 研究開始当初の背景

私たちの日常生活ではさまざまなゴミが発生しており、ゴミ収集は最も基本的な都市サービスの一つです。持続可能な開発目標 (SDGs) に向かう中で、ゴミの過剰排出量を減らす方法は、現実的で複雑かつ緊急の社会問題となっています。多くの日本の都市でゴミ削減運動が行われるなど、さまざまな試みがなされてきましたが、大きな課題の一つは、詳細なゴミ排出量に関する情報です。例えば、家族がゴミ排出量の削減に最善を尽くしても、正確で即時のフィードバックがなければ、自分たちが十分にうまく減量化しているのか、さらに努力が必要なのかを知ることができず、ゴミ削減のための安定したインセンティブになっていません。一部の都市では市全体のゴミ排出データを公表していますが、個々の努力 (例: マンションやブロックごとの一人当たりの量) は粗い統計に隠れています。逆に言えば、詳細な排出量が住民に見えるようになれば、自分たちの努力を鮮明に見ることができ、リサイクルを改善し、過剰排出を減らす可能性が高くなります。詳細な排出量は、収集作業員や住民が手作業で測定することも可能ですが、労力と時間の面で非現実的なコストがかかります。したがって、都市全体のゴミ排出量を詳細に収集するための効果的かつ実用的なセンシングアプローチがここで解決すべき主要な課題です。最近の自動車センシングと深層学習ベースの物体検出の進展は、エッジ中心のコンピューティングパラダイムを使用してこのようなセンシングシステムを開発することに可能になります。

### 2. 研究の目的

図 1 示すように、本研究の主な目標は、ゴミ収集に搭載された車載センシングシステムを開発し、清掃車がゴミ収集のために移動する際に、収集ビデオからゴミのカテゴリを自動的に検出し、排出量を推定することです。このシステムには、深層学習ベースの物体検出および追跡アルゴリズムが採用され、リアルタイムのオンサイト処理のために反復的に最適化されます。さらに、少なくとも 10 台の車載デバイスで構成される実験システムをゴミ収集車に展開し、推定精度と収集データの予備的な適用可能性を評価します。もしポジティブな効果が確認された場合、住民の行動変容を促進するためのより高度なスキームを探索し続けます。

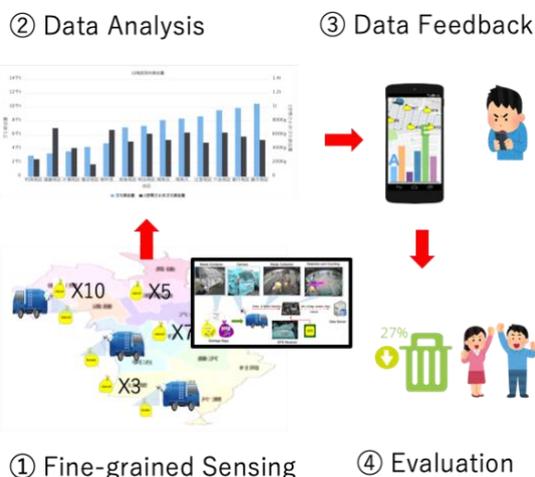


図 1 研究概要図

### 3. 研究の方法

項目 1: 車両センサーシステムの研究

項目 1-1 車両センシングデバイスの開発

まず、車両センシングデバイスを開発します。このデバイスには以下の機能が含まれます: 1) ゴミ収集のビデオデータを撮影するためにゴミ収集車の後部に取り付けられたカメラ; 2) Jetson TX2 のような GPU 内蔵コンピュータを画像処理に採用する; 3) GPS や振

動などの関連センサーの統合； 4) 収集したデータをリモートデータサーバーに送信するための通信モジュール； 5) 電源やローカルストレージなどの他の付属品の開発も行います。

#### 項目 1-2 深層学習ベースの DTC（検出、追跡、カウント）アルゴリズムの開発

次に、収集されたゴミ袋のカテゴリを分類し、数量をカウントする深層学習に基づく画像処理アルゴリズムを開発します。収集プロセスを検出、追跡、カウント（DTC）の 3 つのサブタスクに分けます。

#### 項目 2: リアルタイムエッジ処理のための動的スケジューリング

車両デバイスにおける深層学習ベースのアルゴリズムのリアルタイム処理です。一方で、車両環境では通信資源が非常に限られており、未加工のビデオデータを車両デバイスからクラウドに送信するのは高コストかつ非効率です。他方、計算資源も不十分であり、深層学習アルゴリズムは計算複雑性が高いため、エッジでのリアルタイム処理は非常に難しいです。

#### 項目 3: 実験展開と性能評価

##### 項目 3-1 実験システムの実装と展開

提案システムの実際の性能を評価するために、実験システムを開発し、ゴミ収集車に取り付けます。類似の住民構成を持つ 2 つの地理的に離れた地域を選択します。

##### 項目 3-2 収集データのゴミ削減への応用

実験性能が実用要件を満たす場合、収集データを使用して住民のゴミ削減パフォーマンスを向上させる効果を評価します。前述の実験地域の 1 つに 1 人当たりの排出量をフィードバックし、もう 1 つを比較用に残して、詳細な排出量の認識が住民の行動に影響を与えるかどうかを確認します。

## 4. 研究成果

#### 研究開発項目 1 車両センサーシステムの研究

清掃車の後部に装着されたカメラを使って撮影したごみ収集動画から、自動的にごみ袋を検出し、追跡し、数を数えるセンシング装置を開発しました。このセンシング機能では、深層学習に基づいた物体検出技術と追跡技術を利用しています。これにより、ごみ袋の種類（可燃ごみ、不可燃ごみ、プラごみ）を検出し、追跡しながら、収集されたごみ袋を自動で分類し、種類ごとの数を数えることが可能になりました。また、この装置は清掃車に搭載できるように設計されており、センシングアルゴリズムの精度は 90%以上を達成しました。図 2 には、このセンシング装置の構成について説明しています。

#### 研究開発項目 2 リアルタイムエッジ処理のための動的スケジューリング

ごみ収集の過程で、収集量や余剰排出量の予測などの（ほぼ）リアルタイムの情報を提供するために、計算力が限られた車載装置で大量の計算リソースを必要とする深層学習を用いたセンシングアルゴリズムのエッジ処理技術を開発しました。このアルゴリズムは、適用前の処理速度の約 2 倍の処理速度を達成したことが実験で確認されました（表 1 参照）。また、このエッジ処理技術を活用することで、ごみを収集してからセンシングデータの送

信が完了するまでの平均遅延時間が 10 秒以内という目標を達成し（実際の平均遅延時間は 91 ミリ秒）、車載リアルタイム AI を支える技術として実現しました。この成果をまとめた論文を現在執筆しています。



図 2 ごみ排出量センシング装置

### 研究開発項目 3 実験展開と性能評価

項目 1 と 2 で開発した技術を統合した本項目は実装フィルドの自治体の清掃車に装着した細粒度ごみ排出量センシングプラットフォームの構築を始めた。このために、下記の車載デバイスの関連機能を開発した。

- ・位置情報収集機能：GPS 受信機でごみ収集された場所の位置情報を取得する。
- ・通信機能：車載デバイスに通信モジュールを追加し、センシングデータの送信機能。
- ・データの蓄積：センシングデータの精度を検証するため、センシングデータと動画データのローカル保存機能を開発した。

又、都市規模の有効性を検証するため、実験協力者の自治体に、合計 28 台の清掃車にセンシング装置を取り付け、センシングプラットフォームの構築を始めて、ゴミ排出量の収集を始めた。図 3 にセンシング装置の取り付け作業を示す。また、図 4-6 示すように、収集したデータを異分野データとの融合分析基盤を開発して、データの可視化や集計機能などの開発を行い、自治体との連携活動で、ごみ排出量を活用するごみ管理、収集、減量などのサービス開発を継続に行なっています。



図 3 ごみ排出量センシング装置の取り付け作業

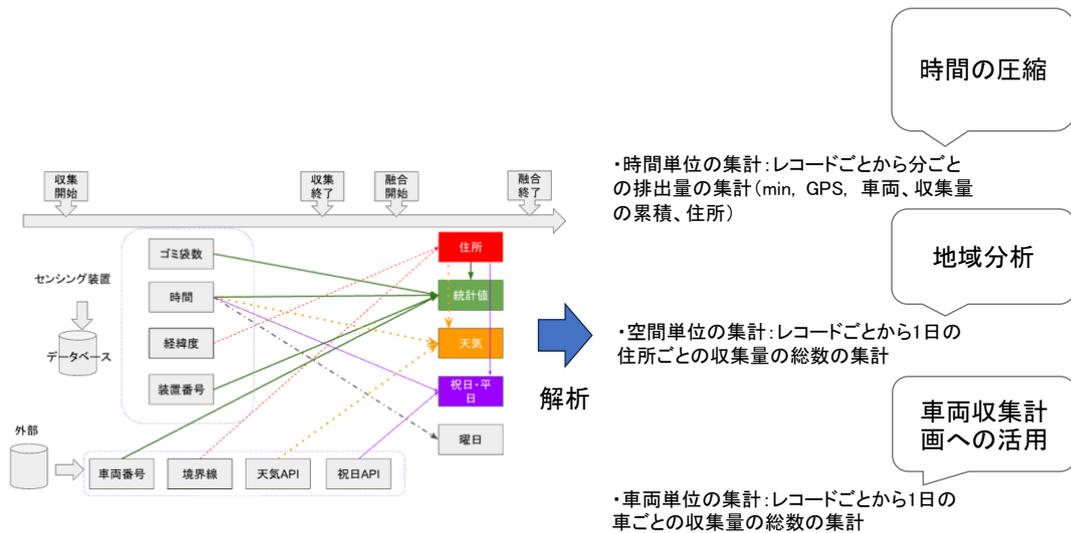


図 4 異分野データの融合分析を用いた細粒度ごみ排出量時空間分布解析基盤

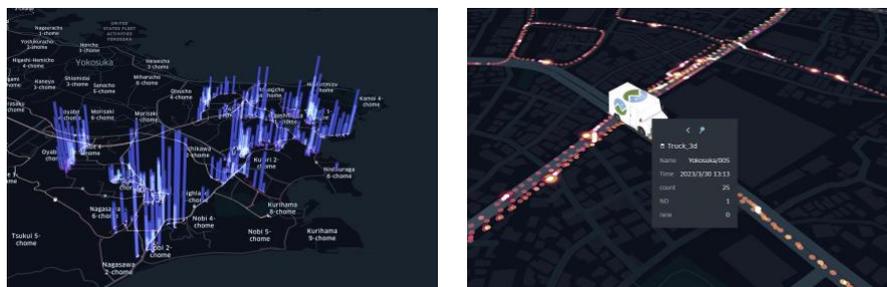


図 5 ごみ排出量の地図上の可視化



図 6 ごみ管理支援サービス

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Yuanze Zhang, Wenhao Huang, Yin Chen, and Jin Nakazawa
2. 発表標題 Forecasting Household Waste Generation with Deep Learning and Long-term Granular Database
3. 学会等名 IoT '23: Proceedings of the 13th International Conference on the Internet of Things (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Wenhao Huang, Kazuhiro Mikami, Yin Chen, and Jin Nakazawa
2. 発表標題 Real-Time Image-Based Automotive Sensing: A Practice on Fine-Grained Garbage Disposal
3. 学会等名 IoT '23: Proceedings of the 13th International Conference on the Internet of Things (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

DeepCounter: 深層学習を用いた細粒度なゴミ排出量データ収集 <a href="https://nkzlab.github.io/sensys/#">https://nkzlab.github.io/sensys/#</a>
--

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------