

[6]

氏名	中畑 光貴
博士の専攻分野の名称	博士 (情報学)
学位記番号	情博第 79 号
学位授与の日付	2023 年 9 月 20 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	深層学習を用いた動画像による車両の 交通量調査技術に関する研究
論文審査委員	主査教授 田中 成典 副査教授 竹中 要一 副査教授 友枝 明保 専門審査委員 教授 伊藤 俊秀 専門審査委員 特別任命教授 清水 則一 (先端科学技術推進機構)

## 論文内容の要旨

我が国では、道路空間における道路の新設、増設や補修に加えて、自転車・歩行者空間への再配分など、適切な道路計画・管理を目的として交通量調査が実施されている。交通量調査は、道路を通過した車両を調査員が目視で小型・大型乗用車や小型・大型貨物車に分類しながら通過台数を計測するのが一般的である。また、ナンバープレートを確認してレンタカーや営業車を分類することもある。調査時間は 12 時間から 24 時間の昼夜を問わず、長時間かつ多地点で実施されることが多いため、その効率化や省力化が求められている。そのため、国土交通省では、ビデオカメラや全国に設置されている道路管理カメラを用いた常時観測による調査を検討している。しかし、現状では、天候の影響を受けることや夜間に適用できないことより未だ研究段階である。そこで、本研究では、実務に適用可能な動画像による交通量調査技術を確立することを目的としている。

まず、昼間におけるカメラの撮影方法を検討した上で、これまでの映像処理技術では交通量の自動算出が難しいことから深層学習に着目し、車両検出と分類技術の可能性を確認している。具体的には、物体検出手法である Object Detection (Yolov3) や画像分類手法である Classification (VGG19) を用いた車両の検出と分類が可能かの予備調査を行っている。そして、動画像の交通量調査結果に対して深層学習の可能性を検証している。

次に、ワゴン車や軽トラックのように大型車と類似した車両を誤分類することがあるため、車両部位に基づいたパーツ識別技術を新たに考案して、学習モデルの更新手法について議論している。具体的には、領域分割手法である Semantic Segmentation (SegNet) を用いて車両の部位を識別する手法 (CarPose: オリジナルフレームワーク) を提案している。さらに、実務においては、学習モデルに登録されていない車の形状やそのボディカラーを追加しながら学習する必要があるため、推定結果から再学習用の教師データを再帰的に自動生成する能動学習手法も併せて提案し、それぞれの有用性を確認している。

最後に、昼間の処理方法を夜間にそのまま適用することを検討している。具体的には、生成 AI 技術を用いて夜間に撮影した動画像を昼間に撮影した動画像に変換することで、前述の昼間の解析方法をそのまま適用して車の台数を同程度の精度で計数できることを実証している。

以上、検討してきた種々技術を用いて、実際の交通量調査の現場に適用して実用性を深く議論している。本論文の構成は、第 1 章では、交通量調査の現状と調査技術の動向についてまとめ、第 2 章では、既存の調査手法の特徴や課題を明らかにしている。第 3 章では、深層学習を用いた動画像による交通量調査技術を実現できるか可能性を検証している。第 4 章では、車両部位に基づいた車両分類と再帰的能動学習手法を提案し、その有用性を確認している。第 5 章では、夜間に適用可能な交通量調査技術を提案し、その実用性を実証している。最後に、第 6 章では、研究成果の総括と本研究成果の今後の展開について取り纏めている。

## 論文審査結果の要旨

本研究は、交通量調査の効率化や省力化のために、ビデオカメラを用いた車の通過台数を計数する深層学習の技術と再学習用の教師データを再帰的に自動生成する能動学習技術、昼間の処理方法を夜間にそのまま適用する技術を確立することで、交通量調査における新たな提案手法の実用性を議論したものである。以下に審査結果を詳述する。

### (1) 交通量調査におけるビデオカメラの撮影方法と深層学習による車両計数技術の提案

本研究では、交通量調査において昼間におけるビデオカメラの撮影方法を考慮しながら、深層学習による車両検出と分類技術の可能性を検証している。まず、動画像の解析技術と非常に密接な撮影方法、いわゆる計測作業規程が明確に定まっていない。そこで、路肩の高さ4mの位置にビデオカメラを設置し、撮影角度を10度から40度まで10度毎に変更した4パターン動画像を検証データとしている。次に、そのパターン毎にYolov3を適用して車両検出と通過台数、そして簡易な分類毎の計測を試みている。その予備実験の結果、撮影角度を20度に調整することが最適であることを明らかにしている。同時に、車の通過台数を7割程度の精度で算出できたことからビデオカメラによる交通量調査の可能性を確認している。

予備調査より、ビデオカメラを用いた適切な撮影方法を考察し、そして、計測データに深層学習を適用して交通量調査の実現可能性について検証している。

## (2) 車両部位を用いた車の分類技術と再帰的能動学習技術の提案

本研究では、通過台数のみならず車の分類を目的として、車両部位に基づいた車の分類技術を新たに考案している。前述の方法では、車の通過台数を正確に算出することができるが、「バンとバス」、「軽トラックとトラック」のように形状が酷似した車の分類に失敗することより、実務の要求精度である正解との差 10%を満たしていない。そのため、精度向上の一方策として、人や物の骨格の特徴から物体の識別精度を向上させる研究 (OpenPose) を参考に、調査員が着目している車両部位に基づいて分類する手法 (CarPose) を新たに提案している。具体的には、まず SegNet を用いて 8 種類の車両部位 (正面、背面、左側面、右側面、上面、タイヤ、フロントガラスとナンバープレート) を識別する技術 (CarPose) を独自に提案し、その識別結果に基づいて車を分類することで推定精度を飛躍的に向上することを実現している。

さらに、本手法を実務にて運用するためには、学習モデルに登録されていない形状やボディカラーの車両を追加・更新しながら再学習させる必要がある。そのため、学習モデルの推定結果から再学習用の教師データを自動生成し、再帰的に能動学習する手法も併せて提案している。具体的には、CarPose により車両部位を識別し、VGG19 を用いてその識別結果を教師データに利用可能か分類することで教師データを自動生成している。そして、車両部位を判断基準とすることで車の通過台数を 9 割程度の精度で算出できることを明らかにしている。さらに、再帰的能動学習から学習モデルの精度が向上することも確認している。

昼間の交通量調査を対象に、深層学習により映像を解析することで車を検出して通過台数を計数できる技術を確立している。また、本手法を運用するために再帰的能動学習手法も提案しており、国土交通省が推進する動画像を用いた交通量調査技術の実用化に繋がる研究成果と言える。

## (3) 夜間における交通量調査技術の提案

交通量調査は、夜間にも実施されることから、昼夜ともに精度良く車を検出しながら通過台数を算出できるように拡張する必要がある。しかし、前述の車両部位を用いた車の分類技術は、昼間のみを対象としていることから、夜間において精度が低下する傾向がある。既存研究では、サーマルカメラやレーザスキャナを活用することで、夜間においても適用可能な技術を提案しているが、ビデオカメラより機器の価格が高く、夏季の日中のように路面の温度が上昇する環境や雨天では精度が低下する課題がある。そこで、生成 AI の CycleGAN を用いて夜間に撮影した動画像を昼間の動画像に変換することで、昼夜ともに精度良く計測できることを追求している。実証実験では、実務の交通量調査にて 24 時間計測した動画像に対して、前述の既存手法と提案手法を比較し、昼間と夜間において車の通過台数を人手観測と同等の精度である 9 割程度で算出できることを明らかにしている。

本研究を通じて、夜間においても高精度に車の通過台数を計数できる技術を実証している。これにより、24 時間の交通量調査に対して動画像の可能性と将来に向けての必然性を示した研究成果と言える。

以上の研究を通じて、深層学習を用いた動画像による交通量調査技術が有用であることを明確にした。1 点目は、車両部位に基づいて車を分類することで、実務に供する精度で車の通過台数を計数できる技術を開発した点に新規性がある。2 点目は、再学習に必要な教師データの作成にかかるコストを削減するために、再帰的に能動学習する技術を開発した点に有用性がある。3 点目は、夜間においても高精度に通過台数を計数できる技術を開発したことで、24 時間交通量調査にも適用可能にした点に独創性がある。

最後に、実務の交通量調査に社会実装し、当該分野における省力化や生産性の向上に寄与できることを確認している。さらに、国土交通省が目指す CCTV を用いた交通量の常時観測技術の開発にも繋がるのが期待できる実践的な研究であると共に、実用化に向けたロードマップを提示した先進的な研究であるため、博士論文として価値のあるものと認める。