

既設道路管理用CCTVを活用したAI画像解析による逆走・誤進入検知システムの開発

ふじい あつし やまぐち しょうへい まつい りゅうたろう
藤井 篤史¹・山口 章平¹・松井 竜太郎²

¹ (株) 建設技術研究所 東京本社 交通システム部 (〒103-8430 東京都中央区日本橋浜町3-21-1)

² (株) 建設技術研究所 大阪本社 道路・交通部 (〒541-0045 大阪府大阪市中央区道修町1-6-7)

近年、車両の逆走や自動車専用道路への自転車、歩行者等の誤進入が重大な事故に繋がる事象が多発しており、大きな社会問題となっている。高速道路会社等では、逆走事象を検知するシステムの導入が進められているが、導入、整備に要するコストが課題となっている。

本稿では既設道路管理用CCTVとAI画像解析技術に着目し、オープンソースソフトウェアで利用可能な汎用性の高い逆走・誤進入検知システムの開発を進め、中部地方整備局管内道路における実証試験の結果、一定の検知精度が得られ、道路監視業務への適用の実現性が示唆された。

Key Words : CCTVカメラ, AI, 画像解析, 逆走, 誤進入, 車両追跡, 交通安全対策

1. はじめに

高速道路において、平成23年度から平成30年度までの8年間に車両の逆走事象が1,690件、事故に至った事案が333件発生している¹⁾。また、平成23年度から平成28年度までの6年間に歩行者、自転車等の誤進入事象が18,443件発生している²⁾。自動車専用道路においても、車両の逆走、歩行者、自転車の誤進入が重大な事故に繋がる事象が多発しており、大きな社会問題となっている。

このような背景の中で高速道路会社等では、逆走事象を検知するシステムの導入が進められているが、対策箇所であるランプ合流部等へのセンサーの新規設置等、システムの導入、整備に要するコストが課題となっている。

以上を踏まえ、本稿では、オープンソースのソフトウェアで利用可能なAI画像解析技術と道路管理用の既設CCTVカメラを活用することにより、簡易に導入可能な汎用性の高い逆走・誤進入検知システム(以下、検知システムと呼称)の開発を進め、中部地方整備局管内の道路において実証試験を行った結果を報告する。

2. 逆走・誤進入検知システムの開発

本システムは、効率的に逆走等を監視するために低コストでの対策実施を目的として、既設CCTVカメラ画像を活用し、AI画像解析により検知した異常事

象の通知を行う。本システムの主な機能を以下に示す(図-1)。

- ① 既設CCTVカメラからストリーム映像を取得する機能(画像取得機能)
- ② 取得した映像に対して画像解析を実施する機能(画像処理機能)
- ③ 画像解析により検知した異常事象を、画面表示と音声により通知する機能(監視機能)



図-1 検知システムの概要

(1) 画像取得機能

登録されているCCTVカメラについて、ストリーム映像を取得し、ある時点マイナス10秒～プラス20秒の動画ファイルを20秒ごとに保存する。保存した動画ファイルから、設定された時間単位(Nフレーム/秒)で画像ファイルを切り出し、保存する。

(2) 画像処理機能

画像取得機能により取得した画像ファイルに対して画像解析を実施する。異常事象を検知した場合、検知結果と検知時の画像を出力する。画像処理による異常事象検知方法の詳細は3章に記載する。

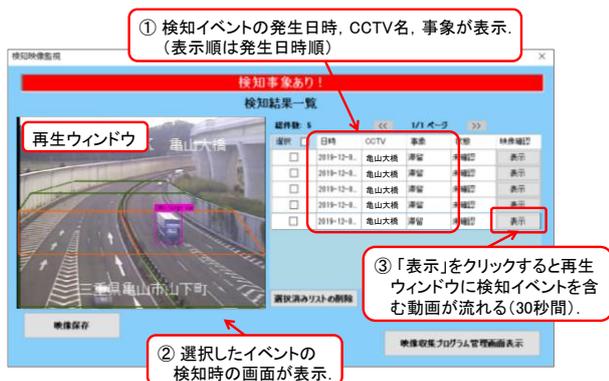


図-2 異常事象検知時の通知画面

(3) 監視機能

画像処理機能により逆走等の異常事象が検知された場合、道路情報センターに常駐するセンター員及び情報員に音声とモニタ越しの通知（図-2）を行う。

3. 逆走・誤進入事象の検知方法

(1) 移動体検知手法

逆走、誤進入事象の発生を検知するため、CCTVカメラ画像から車両、歩行者等の移動体を検知する必要がある。加えて、重大な事故に繋がりうる逆走、誤進入等の事象は迅速に検知することが求められる。

本稿では、移動体を検知するAI画像解析技術として、高度な画像解析能力を発揮している「CNN（畳み込みニューラルネットワーク）」に着目し、CNNを活用した物体検出手法であるYOLOv3³⁾を採用した。YOLOv3は、画像を任意のサイズの領域に分割し、形状、位置等の特徴量を用いて、領域ごとに物体の種類と存在する位置を同時に推定することで、高速かつ高精度な物体検出を可能としている（図-3）。

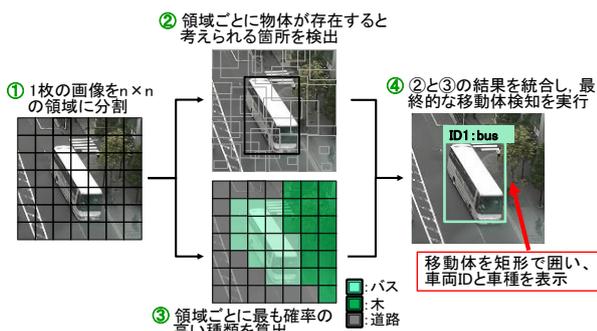


図-3 YOLOによる移動体検知のイメージ

(2) 画像フレーム間における同一移動体の追跡

YOLOv3はフレームごとに画像処理を行うため、連続する画像フレームで検知された移動体は、フレーム間で同一の移動体としては認識されない。異常事象を検知するためには、時系列に移動体の位置を把握し、移動体の進行方向を判定する必要がある。そこで、カルマンフィルタを用いた確率分布により、連続する画像フレーム間において同一移動体の追跡を行った（図-4）。

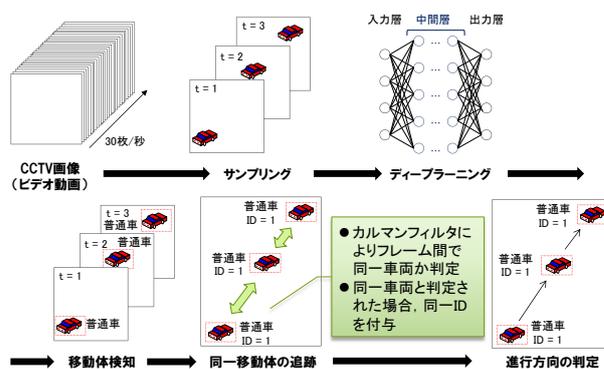


図-4 同一移動体の追跡処理の流れ

(3) 教師データの作成

検知対象の移動体として、バス、大型車、小型車、自動二輪、自転車、歩行者を設定した。移動体検知を実施するためには、検知対象物の画像と識別子（移動体の種類、画像内における座標）を組み合わせた教師データを事前に作成し、特徴量の学習を行う必要がある。日照や天候、交通状況による検出精度の変動が想定されることから、時間帯別（昼間・夜間）、天候別（晴天・雨天）等、異なる環境状況の教師データを作成した。なお、ヘッドライトによるハレーションやカメラへの水滴付着が発生している状況（図-5）のように、移動体として判別が困難であり、検知精度の低下要因となることが想定される状態の移動体を「判別不能」として学習を行った。



図-5 「判別不能」の移動体の例

(4) 逆走、誤進入事象等の検知方法

道路管理において、突発的に発生し、迅速な対応が必要となる車両の逆走事象、歩行者、自転車等の道路への誤進入事象および事故や渋滞発生時等の車両の滞留事象を検知対象とした。

a) 逆走事象の検知方法

バス、大型車、小型車、自動二輪、判別不能が、車線の進行方向と反対方向へと、設定した距離、時間以上連続して移動している場合に逆走事象として検知する。

b) 誤進入事象の検知方法

設定した領域（車道領域等）において、歩行者、自転車等が設定時間以上検知された場合に誤進入事象として検知する。

c) 滞留事象の検知方法

設定した領域において、設定時間以上検知されたバス、大型車、小型車、自転車、判別不能が、設定台数以上計測された場合に滞留事象として検知する。

4. 逆走・誤進入検知システムの実証試験

(1) 実証試験の対象CCTVカメラの選定

中部地方整備局管内に設置されたCCTVカメラを対象に、検知システムの精度検証を行った。対象とするCCTVカメラを選定するにあたり、過去に逆走、誤進入事象が発生した実績があることや、車線やランプが障害物なく見通せることを考慮し、道路管理者との協議の上、図-6に示す3箇所を選定した。



図-6 実証試験の対象CCTVカメラ

(2) 異常事象検知精度の評価方法

実際に発生した異常事象に対して、検知システムによる事象検知は図-7に示す関係となる。検知システムによる各異常事象の検知精度を表-1に示す適合率および再現率により評価を行う。適合率が高い場合は誤検知が少なくなり、再現率が高い場合は未検知が少なくなる。

目視等	真値 (画像から検知可能な対象)		
検知システム	正解 (正しく検知)	未検知	誤検知
真値	CCTVカメラから目視で確認できる、実際に発生した異常事象の数		
正解	検知システムにより正しく検知できた異常事象の数		
未検知	実際には発生した異常事象を、検知システムにより検知できなかった数		
誤検知	実際には発生していない異常事象を、検知システムにより誤って検知した数		

図-7 真値と検知システムによる異常事象検知の関係

表-1 検知システムの検知精度の評価指標

評価指標	内容
適合率	$\frac{\text{画像解析により検知した事象の中で実際に異常事象が発生した数 (正解)}}{\text{画像解析により検知した異常事象の数 (正解 + 誤検知)}} \times 100\%$
再現率	$\frac{\text{画像解析により正しく検知できた異常事象の数 (正解)}}{\text{実際に発生した異常事象の数 (真値 = 正解 + 未検知)}} \times 100\%$

(3) 適合率による異常事象検知精度の評価

2020年2月10日～2月18日の9日間のデータを用いて、検知システムにより検知した異常事象が実際に発生していたかを目視で検証した (表-2)。

逆走事象について、亀山大橋では車線の進行方向と反対方向へ走行する車両を正しく検知 (以下、正検知と呼称) できていた。岡宮IC2においては、車両後退による検知1件を含む2件の事象を正検知できたものの (図-8 (A))、2件の誤検知が確認された。画像内で車両同士が重なる場合に車両の検知精度が低下することが要因であり、図-8 (B) に示すように分流部における渋滞発生時に滞留車両を逆走として誤検知している。

誤進入事象に関して、道路上に作業員が立ち上がった際に誤進入として検知している (図-8 (C))。

滞留事象の検知事例として、導流帯等における停止車両 (図-8 (D)) 及び渋滞等による滞留 (図-8 (E)) が確認できた。後者について、岡宮IC2では、朝の通勤時間帯に市街地方面へ向かう分流部で慢性的な滞留が発生しており、検証期間内に222件の事象が検知された。一方で、亀山大橋において、壁面に設置された照明が路面に反射した反射光を、滞留車両として誤検知する事例が確認された (図-8 (F))。これは、ヘッドライトによるハレーション発生時の画像を「判別不能」として学習させたことにより発生している。

表-2 適合率による異常事象検知の整理結果

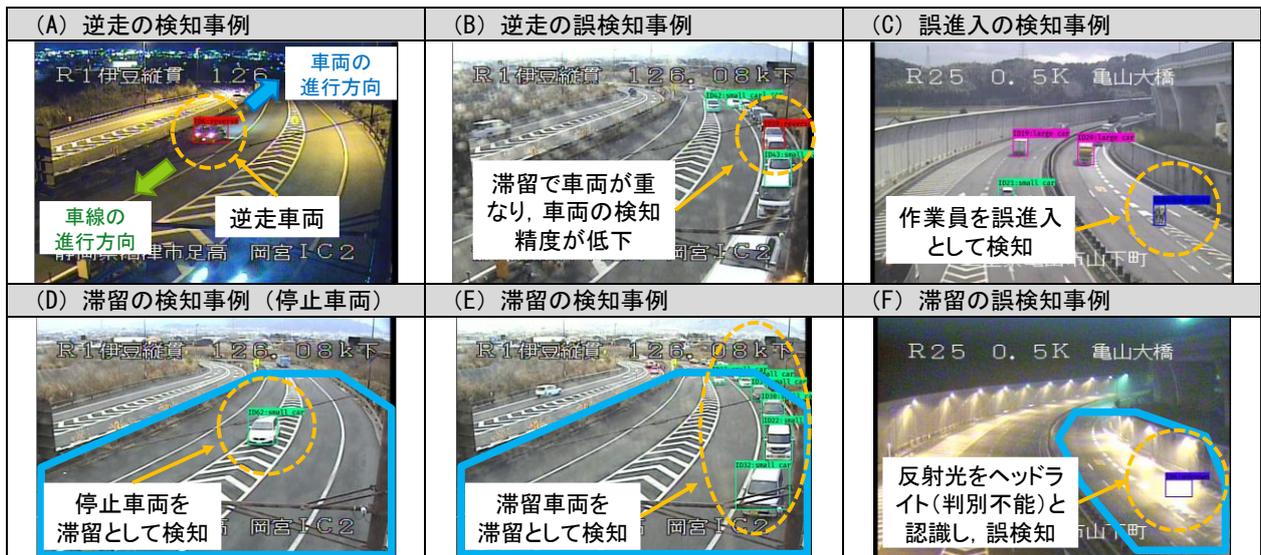
対象CCTV	逆走	誤進入	滞留
亀山大橋	100% (1/1)	100% (1/1)	54.5% (12/22)
高山国府BP国府TN坑口：国府側	検知対象外	100% (1/1)	検知対象外
岡宮IC2	50.0% (2/4)	検知なし (0/0)	100% (241/241)

※適合率は表-1参照

(4) 再現率による異常事象検知精度の評価

昼夜別、天候別に各1時間のデータを用い、目視により実際に発生したと確認できた事象を、検知システムにより検知できていたかを検証した (表-3)。

逆走、誤進入事象については、発生頻度が高くないことから、検証期間内では確認されなかった。



【車種凡例】□: 小型車, □: 大型車, □: 判別不能 【事象凡例】□: 逆走, □: 誤進入, □: 滞留 (領域)
 図-8 適合率による異常事象検知精度の評価

岡宮IC2において、2件の滞留事象を正検知できているものの、実際に発生した事象に対して1件の未検知が発生している(図-9)。画面に存在する支柱と車両が重なり、車両自体が検知できなかったことが要因で滞留事象を検知できなかったと考えられる。

表-3 再現率による異常事象検知の整理結果

対象CCTV	逆走	誤進入	滞留
亀山大橋	検知なし (0/0)	検知なし (0/0)	検知なし (0/0)
高山国府BP国府 TN坑口: 国府側	検知 対象外	検知なし (0/0)	検知 対象外
岡宮IC2	検知なし (0/0)	検知なし (0/0)	66.7% (2/3)

※再現率は表-1参照



図-9 再現率による異常事象検知精度の評価

(5) 今後の課題と対応方針

検証結果を踏まえ、検知システムの実用化に向けた主な課題と対応方針を整理した。

a) 逆走事象の誤検知について

滞留時に車両同士の重なりが多数発生し、車両の検知精度が低下していることが要因。滞留発生時の画像を追加学習させることで抑制可能と考えられる。

b) 滞留事象の誤検知について

夜間においても逆走事象を検知することを目的に、ヘッドライトによるハレーション発生時の画像を

「判別不能」として学習させていることが要因。「判別不能」は滞留事象の検知対象外とする。

c) 滞留事象の未検知について

車両の一部でも検知可能なように、教師データの拡充を図る。ただし、障害物と重なった状態の教師データを拡充した場合、障害物のみでも移動体と検知する可能性があるため、車両単体のデータを学習させる必要がある。

d) カメラ旋回時の異常事象検知について

CCTVカメラは道路管理の運用上、日常的にセンター員及び情報員により操作される。通常時以外の映像が映し出された場合、システムによる誤検知が発生することが想定される。そのため、「カメラ旋回の有無を自動で判定し、旋回時には異常事象の検知を実施しない」という機能の追加を検討する。

5. おわりに

本稿では、オープンソースソフトウェアで利用可能なAI画像解析技術と既設のCCTVを活用することで、簡易に導入可能な汎用性の高い検知システムを開発した。今後、検知システムの実用化に向けた、運用上必要な機能の追加、検知精度の向上を図りたい。

謝辞：本稿の投稿に際し、快く承諾頂きました中部地方整備局道路部交通対策課の関係者の皆様方に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省：第4回高速道路での逆走対策に関する有識者委員会 資料1 2018年逆走発生状況,2019
- 2) 国土交通省：【参考】高速道路への歩行者・自転車等の進入発生状況,2017,
<https://www.mlit.go.jp/common/001193181.pdf>
- 3) Joseph Redmon and Ali Farhadi: YOLOv3: An Incremental Improvement, arXiv:1804.02767, 2018.