

# 修士論文

## 画像認識による交差点付近における リアルタイム車両状態推定

Real-time vehicle status estimation  
near intersections using image recognition

2022年 12月 20日 提出

指導教官 岩井将行 教授

未来科学部 情報メディア学科

20FMI02 安齋凌介

# 修士論文要旨      2021 年度（令和3 年度）

## 概要

交通工学はエッジセンサから得られたデータを活用することで，可能性が大きく広がる分野である．以前より，速度違反検知，ナンバープレート検知，渋滞検知などは日本のみならず先進国で導入されている．それらのセンサは大規模かつ高額になることが多く，交通量の多い交差点や高速道路に限定して設置されていることが多い．そのため，これらのセンサを活用した交通最適化を行っている事例は筆者の知る限り無い．また，住宅街や2 車線道路などでは，これらのセンサの設置がまだ進んでいないのが現状である．これらの道路での渋滞は信号機の制御の最適化を行うことで解消すると考えられており，我々は次世代の動的な信号機の開発を行なっている．その中で，我々は監視カメラと画像処理を用いた信号機のセンサ部分を開発した．これにより今まで取ることができなかったその地点の詳細な車両のデータの取得が可能となった．

キーワード:

エッジセンサ, sort, リアルタイム, 状態推定

東京電機大学院未来科学研究科情報メディア学専攻

安齋 凌介

# 目次

第1章	序論	1
1.1	背景	2
1.2	本研究の目的	2
1.3	本論文の構成	2
第2章	関連研究	3
2.1	関連研究	4
2.1.1	ITS について	4
2.1.2	日本の交通事情	4
2.1.3	信号機について	4
2.2	先行研究	5
第3章	提案手法	6
3.1	提案システム	7
3.1.1	概要	7
第4章	アルゴリズム	8
4.1	アルゴリズム概要	9
4.1.1	SORT について	9
4.1.2	射影変換	10
4.1.3	信号制御	10
第5章	結果	11
5.1	実験結果と考察	12
5.1.1	実験概要	12

第 6 章	13
謝辭	14
References	16
Appendix	18

# 图 目 次

# 表 目 次

# 第1章

---

## 序論

---

本章では，本研究の背景と目的および，本論文の内容構成について述べる．

## 1.1 背景

交通工学はエッジセンサから得られたデータを活用することで，可能性が大きく広がる分野である．以前より，速度違反検知，ナンバープレート検知，渋滞検知などは日本のみならず先進国で導入されている．これらのセンサは大規模かつ高額になることが多く，交通量の多い交差点や高速道路に限定して設置されていることが多い．そのため，これらのセンサを活用した交通最適化を行っている事例は筆者の知る限り無い．また，住宅街や二車線道路などでは，これらのセンサの設置がまだ進んでいないのが現状である．これらの道路での渋滞は信号機の制御の最適化を行うことで解消すると考えられており，我々は次世代の動的な信号機の開発を行なうことにした．動的な信号機とは，交差点付近の交通状況に応じて最適な信号の制御を行うことができる信号機のことである．この信号機の開発にあたり，交差点付近の交通状況を監視するセンサを開発する必要がある．そこで，我々は監視カメラと画像処理を用いた信号機のセンサを開発した．画像処理の中でも画像認識とリアルタイムトラッキングを用いることで，各車両の状態はもちろんのこと，交差点付近にいる人の状態も監視することができると考えられる．

## 1.2 本研究の目的

本研究は信号機の動的な制御を行うために，センサとして画像処理を用いて交差点付近の車両の状態を推定することを目的としている．認識する項目は，車両の位置情報，車両の速度，(車両の種類，車両の軌跡，交差点内の車両の右左折待ち)である．これらのデータを用いることで円滑な交通に繋がると同時に，これまで取ることはできなかった交通状況のデータを取ることが可能になる．

## 1.3 本論文の構成

本稿では，2章で関連研究について述べ，3章で提案システムの概要について説明し，4章ではアルゴリズムについて説明をする．5章では結果，6章では考察を述べる．最後に7章で今後の展望およびまとめを述べる．



## 第2章

---

### 関連研究

---

本章では，本研究における関連研究について述べる．

## 2.1 関連研究

### 2.1.1 ITS について

IoT ( Internet of Things ) の普及に伴い , さまざまな場所でのセンシングやデータの収集が可能となった . 交通工学の分野でも例外ではなく , 古くは車両データを扱った技術として速度違反自動取締装置 ( オービス ) が挙げられる . また , 近年では ITS ( Intelligent Transport Systems : 高度道路交通システム ) の観点からさらに高度で詳細な交通データを扱う研究やプロジェクトが注目されている . IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition ( CVPR ) Workshops では AI City Challenge[1] と称し , ITS に関するワークショップを毎年開催している . ここでは , カメラによる車両の識別 , スピード検知 , ナンバープレートの読み込みによるマルチカメラでの車両の再識別などのタスクが用意されており , 国際的に見ても ITS が注目されていることがわかる .

### 2.1.2 日本の交通事情

現在 , センサ類が一般的な道路や交差点に取り付けられていることは少なく , 高速道路や交通量の多い幹線道路に限定し取り付けられていることが多い . 取り付けられている道路においても , それらのデータはスピード違反検知や盗難車両特定 , 渋滞の検知などとして用いられていることが多いものの , 交通の最適化という観点からデータを活用している事例は少ない . そもそも最先端技術を一般道路に活用しようとする働きかけがまだまだ少ないのが現状である . 海外では , 中国を筆頭に ITS が急速に成長している . 従って , 次世代のインフラについて考える機会が増えつつある .

### 2.1.3 信号機について

ところで , インフラの中でも重要な要素の一つに信号機がある . 信号機は車両用信号機と歩行者用信号 , 路面電車用信号機の 3 つに分けることができる . 本研究では車両用信号機のみについて考える . 現行の車両用信号機の制御は , 「制御対

象の信号交差点間の関連性」と「信号制御パラメータの設定方式」の2つに分類することができる。本研究では、白畑ら [2] を参考に後者の制御について考える。制御方法は、定周期制御と交通感应制御の2つに分けることができる。定周期制御は、時間帯に応じてあらかじめ信号制御のパラメータが設定されているもので、交通感应制御は、車両検知器などを用いて制御する方式である。

## 2.2 先行研究

リアルタイムで動的な信号制御の研究 [3][4][5] では、自立分散型信号機の、車両の位置情報、車両の速度、(車両の種類、車両の軌跡、交差点内の車両の右左折待ち) このことから本研究では、

こうしたカメラ画像から複数のオブジェクトを検出し追跡するタスクをコンピュータビジョンや機械学習分野では MOT (Multi Object Tracking) と呼ぶ。MOT では、リアルタイムか否かで大きく二つにタスクを分けることができる。リアルタイムではない処理として TNT (TrackletNet Tracker) は、2次元のカメラ映像からオブジェクトを検出し、オブジェクトの軌跡を深層学習を用いて推定していく方法である。[6] [7] TNT は、カメラ映像内で複雑かつ大量のオブジェクトを追跡することに向いているものの、カメラ映像を全て読み込んで処理するため、リアルタイム性はなく、本研究では用いることができない。一方でリアルタイムでの処理として、SORT (Simple Online and Realtime Tracking) がある。[8] [9] これは、検出されたオブジェクトの座標をカルマンフィルタ [10] を用いて、リアルタイムでのオブジェクトの追跡を可能としている。前述で述べた TNT と比べると複雑な MOT を行うことは難しいものの、ある程度規則性を持った車両などの MOT はリアルタイムで処理することが可能である。

## 第3章

---

### 提案手法

---

本章では，提案手法について説明する．

### 3.1 提案システム

本研究では、アルゴリズムに SORT，安価なエッジセンサとして Jetson Xavier NX[11]，オブジェクト検出機として YOLOv4[12] を用いて、交差点付近の車両を追跡するシステムを開発した。それらを各信号機に設置し、各センサと各信号機を制御する RaspberryPi4 を接続している。

このシステムを開発する際の問題点として、

- (1) 安価であるが故に十分な性能を発揮することが難しいこと
- (2) 既存のデバイスで得られたデータを活用することが難しいこと
- (3) 環境的に通信の信頼性を担保することが難しいこと

がある。(1) は Jetson Xavier NX を用いて、検証を行う。さらに、SORT は実装が軽量なためリアルタイム処理性能として非常に優れており、本研究ではこれを用いることとした。(2) は The Microsoft Common Objects in COntext (MS COCO) dataset[13] を用いて学習された YOLOv4 を使用することで解決する。(3) は金融系で用いられことを目的とした AMQP のプロトコルを使用することで信頼性を担保する。

#### 3.1.1 概要

提案する車両の追跡システムの概要は図に示す。提案するシステムはエッジセンサで車両の追跡を行い、クライアント側で座標データを受け取って、地図上に描画する。エッジセンサ側では、検出器に YOLOv4 を用いて、SORT アルゴリズム [9] を用いて車両の追跡を行う。クライアント側では、ホモグラフィ行列を求め、Google Maps API[14] を用いて地図に車両の位置情報を描画を行う。今回の実験での信号機の制御は、センサから受け取った車両の位置情報から最適な信号制御を行う。

## 第4章

---

# アルゴリズム

---

本章では、システムで用いられているアルゴリズムの詳細について述べる。

---

**Algorithm 1** SORT

---

```

1: 動画の読み込み
2: while do
3:   フレームの読み込み
4:   YOLOv4 でオブジェクト探索
5:   if Object is True then
6:      $X = [u, v, s, r, \dot{u}, \dot{v}, \dot{s}]^T$ 
7:      $kalmanfilter(X)$ 
8:   end if
9: end while

```

---

## 4.1 アルゴリズム概要

1章で述べたようにエッジセンサ側で SORT , クライアント側で射影変換を用いている .

### 4.1.1 SORT について

検出器によって検出したバウンディングボックス ( BBOX ) の座標から , フレーム間の変位を線形モデルを用いて近似させる . 各オブジェクトの状態は次のようにモデル化される .

$$X = [u, v, s, r, \dot{u}, \dot{v}, \dot{s}]^T \quad (1)$$

ここで ,  $u$  と  $v$  はオブジェクトの中心の水平方向と垂直方向のピクセル位置を表し ,  $s$  と  $r$  はそれぞれオブジェクトの BBOX の面積とアスペクト比を表す . ただしアスペクト比は一定とする . 検出された BBOX は , カルマンフィルタのフレームワークを用いて , 速度成分が最適化されるオブジェクトの状態を更新するために用いられる . オブジェクトが検出されていない場合 , 線形モデルを用いて補正せずに , 次の状態を単純に予測する .

#### 4.1.2 射影変換

検出器によって検出した BBOX の底辺の中点  $p$  を射影変換し，地図上に投影する．中点  $p$  は次式のようになる．

$$p = [x, y, 1]^T, P = [X, Y, 1]^T \quad (2)$$

$$P' = [X', Y', W']^T = Hp \quad (3)$$

$$P = \frac{1}{W'} P' \quad (4)$$

ここで， $P$  は地図上の座標を表している． $x, y$  は画像の座標を表しており， $H$  はホモグラフィ行列を表す．

#### 4.1.3 信号制御

本実験では，デモとして最適な信号の制御を行なった．その制御内容は下記の通りである．

- (1) 交差点に接する車道への車両の流入が観測された場合，青信号にする．
- (2) 交差点内で右折待ちで渋滞が発生している場合，対向車側の信号を赤信号にする．



## 第5章

---

### 結果

---

本章では，提案システムを俯瞰し，実験結果について述べる．

## 5.1 実験結果と考察

### 5.1.1 実験概要

本実験では 3 種類のシチュエーションをシミュレーションし、検証を行う。

(実験 1) 初期状態の確認と基本ロジックの確認

(実験 2) ごく少ない交通需要のもとでの信号待ち時間の解消

(実験 3) 右折待ち行列の解消

## 第6章

---

---

# 謝辞

本研究は、一般財団法人トヨタ・モビリティ基金の支援による「自律分散型信号システム研究開発」の一部として実施した。また、東京大学生産研究所

2021 年 3 月 31 日

安齋 凌介

# 学外発表

1. 安齋凌介, 岩井将行, ” .

## 参考文献

- [1] Milind Naphade, Shuo Wang, David C. Anastasiu, Zheng Tang, Ming-Ching Chang, Xiaodong Yang, Liang Zheng, Anuj Sharma, Rama Chellappa, and Pranamesh Chakraborty. The 4th ai city challenge. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) Workshops*, June 2020.
- [2] 白畑健, 伊藤昌毅, 新倉聡, 大口敬. 車両到着センサを想定した自律型信号制御ロジックの提案. 生産研究, Vol. 72, No. 2, pp. 147–152, 2020.
- [3] 林健, 井原史渡, 山田悠司, 藤森立, 須賀聖, 栗原聡. 車両種別を考慮したマルチエージェント動的信号機制御システムの提案と実装. 人工知能学会全国大会論文集 第 35 回全国大会 (2021), pp. 4F2GS10m02–4F2GS10m02. 一般社団法人 人工知能学会, 2021.
- [4] 小中裕次郎, 白井嵩士, 西村茂樹, 矢野純史, 香川浩司, 森田哲郎, 沼尾正行, 栗原聡ほか. 自動分散制御による動的な信号機制御パラメータ制御モデルの提案. 研究報告数理モデル化と問題解決 (MPS), Vol. 2010, No. 2, pp. 1–8, 2010.
- [5] 白井嵩士, 小中裕次郎, 矢野純史, 西村茂樹, 香川浩司, 森田哲郎, 沼尾正行, 栗原聡. マルチエージェントモデルによる分散型リアルタイム信号機制御システム. 人工知能学会全国大会論文集 第 25 回全国大会 (2011), pp. 3J2OS103–3J2OS103. 一般社団法人 人工知能学会, 2011.
- [6] Gaoang Wang, Yizhou Wang, Haotian Zhang, Renshu Gu, and Jenq-Neng Hwang. Exploit the connectivity: Multi-object tracking with trackletnet. In *Proceedings of the 27th ACM International Conference on Multimedia*, pp. 482–490, 2019.

- [7] Zheng Tang, Gaoang Wang, Hao Xiao, Aotian Zheng, and Jenq-Neng Hwang. Single-camera and inter-camera vehicle tracking and 3d speed estimation based on fusion of visual and semantic features. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition workshops*, pp. 108–115, 2018.
- [8] Alex Bewley, Zongyuan Ge, Lionel Ott, Fabio Ramos, and Ben Upcroft. Simple online and realtime tracking. In *2016 IEEE international conference on image processing (ICIP)*, pp. 3464–3468. IEEE, 2016.
- [9] Nicolai Wojke, Alex Bewley, and Dietrich Paulus. Simple online and real-time tracking with a deep association metric. In *2017 IEEE international conference on image processing (ICIP)*, pp. 3645–3649. IEEE, 2017.
- [10] Rudolph Emil Kalman. A new approach to linear filtering and prediction problems. 1960.
- [11] NVIDIA. Jetson xavier nx, 2021. <https://www.nvidia.com/ja-jp/autonomous-machines/embedded-systems/jetson-xavier-nx/>.
- [12] Alexey Bochkovskiy, Chien-Yao Wang, and Hong-Yuan Mark Liao. Yolov4: Optimal speed and accuracy of object detection. *arXiv preprint arXiv:2004.10934*, 2020.
- [13] Tsung-Yi Lin, Michael Maire, Serge Belongie, James Hays, Pietro Perona, Deva Ramanan, Piotr Dollár, and C Lawrence Zitnick. Microsoft coco: Common objects in context. In *European conference on computer vision*, pp. 740–755. Springer, 2014.
- [14] Google. Google maps platform. <https://developers.google.com/maps/?hl=ja>.

## 付録

In the Appendix, attach a paper was presented at the Entertainment Computing 2015.