

エッジノードを用いた映像処理による 交差点の多方向リアルタイム車両状態推定

安齋 凌介^{1,a)} 伊藤 昌毅^{2,b)} 白畑 健^{2,c)} 大口 敬^{3,d)} 岩井 将行^{1,e)}

概要: 本研究では、交差点においてエッジノードを用いた多方向リアルタイム車両状態の推定を行い、フィールド実験においてその実現可能性や性能を検証した。道路交通を検知するセンサは速度違反や渋滞の検知などに広く利用されているが、大規模かつ高額であり、高速道路や主要道路以外に設置することは困難であった。本研究では、複数のカメラを交差点に設置し、画像認識やオブジェクトトラッキングなどを小型のエッジコンピュータで行うことで交差点全体の交通状況をリアルタイムで検出するシステムを開発した。提案システムを実際の交差点を模した検証環境で稼働させ、性能を検証するとともに、これらのセンサを活用した交通信号の最適制御を行い、交通の円滑化を実現した。提案システムによって、安価で高性能な道路交通センシングの実現可能性が示された。

Multi-directional Real-time Vehicle State Estimation at Intersections by Video Processing Using Edge Nodes

1. はじめに

道路交通において、速度違反検知、ナンバープレート検知、渋滞検知など道路に設置されたセンサを用いたシステムは、日本のみならず先進国などで広く導入されている。さらにそれらのセンサを活用し、車両と交通管制システムとの双方向通信を行う新交通システム UTMS (Universal Traffic Management Systems) [1] や道路状況の細かな変化に対応する自律分散型信号機などの開発研究が行われている。本研究では、特に自律分散型信号機のセンサとして、カメラセンサを用いた多方向かつリアルタイムな車両の状態推定を行えるエッジノードとそのシステムの開発を行った。竹内ら [2] は、自律分散型信号機はそれぞれの信

号機でその周辺の交通状況に応じて信号制御を行うため、集中信号機制御よりも総遅れ時間の減少が期待できるとしている。さらに、は集中信号機制御では改良や維持にコストがかかっていることを指摘しつつこれらを解消するための分散知能を有する分散型交通信号制御を提案した。

また、動的な信号機制御の研究は、林ら [3]、小中ら [4]、白井ら [5] など多くの研究事例が報告されている。林らは、既存の信号機制御である集中制御方式では、交通状況に応じた制御がおおよそ 10 分掛かることを指摘し、自律分散型信号機制御システムの有効性を示すと同時に、交通シミュレーション SUMO (Simulation of Urban MObility) を用いて、大型と普通車両などの車種別を考慮したモデルを提案した。小中らも、自律分散型信号機による交通渋滞の緩和に有用である可能性を示唆した。さらに、白井らも分散型リアルタイム信号機制御システムとして、高性能なマシンを用いたセンサを使い、シミュレーション上に反映し、実際の信号機の制御を行うシステムの提案を行った。

これらの研究では、交通の最適化に注目したシステムの提案と交通シミュレーションによる検証が行われてきた。しかし、信号機に接続されているセンサを搭載したエッジノードを用いることを想定しているものの、現在の交差点付近に設置されている光ビーコンや超音波式センサでは、

¹ 東京電機大学 大学院未来科学研究科
Graduate School of Information System and Multimedia Design, Tokyo Denki University
² 東京大学 大学院情報理工学系研究科
Graduate School of Information Science and Technology, the University of Tokyo
³ 東京大学 生産技術研究所
Institute of Industrial Science, the University of Tokyo
a) anzy@cps.im.dendai.ac.jp
b) ito.masaki@sict.i.u-tokyo.ac.jp
c) ken-s@iis.u-tokyo.ac.jp
d) takog@iis.u-tokyo.ac.jp
e) iwai@cps.im.dendai.ac.jp

一定時間の交通量の計測をすることにとどまり詳細な道路状況や車両の状態などを知ることはできない。

そこで本研究では、動的制御の行える自立分散型信号機のエッジノードとしてカメラセンサを用いたエッジノードと実地での検証システムの開発を行い、交差点のフィールド実験においてその実現可能性や性能の検証を行なった。

本研究では、複数のカメラを交差点に設置し、画像認識やオブジェクトトラッキングなどを小型のエッジコンピュータで行うことで交差点全体の交通状況をリアルタイムで検出するシステムを開発した。提案システムを実際の交差点を模した検証環境で稼働させ、性能を定性的に検証するとともに、これらのセンサを活用した交通信号の最適制御を行い、交通の円滑化を実現した。提案システムによって、定時切り替えの信号機に比べて、右折待ちにおける行列の緩和が期待できることを示した。

1.1 画像処理に関する既往の研究

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、オンライン処理とバッチ処理の二種類がある。

バッチ処理として 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おり、オクルージョンの解決やマルチカメラでの Re-id などを行うことができる。ただし、カメラ映像を全て読み込んでの後処理のため、リアルタイムでの処理は行えない。

一方でオンライン処理は、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。TNT と比べるとオクルージョンの解決や Re-id など複雑な処理を行うことは困難であるものの、逐次的な処理であるためリアルタイムでの処理を行うことが可能である。

1.2 本研究の目的

本研究の目的は、動的制御型信号機に搭載するセンサを用いたエッジノードの開発および実地での検証である。特に、右折待ちによる行列の緩和を目標とする。関連研究をまとめると、

- 現在の集中信号制御方式に比べて自律分散型は総遅れ時間が短い。
- 動的信号制御の既往の研究はシミュレーションによる結果であり、実地での検証を行なった事例が無い。
- MOT では車両の追尾を行うことができ、SORT

を用いることでリアルタイムでの処理が可能である。

このことから、本研究では、SORT を用いたエッジノードの開発を行い、実地検証のためのシステムの構築を行う。さらに、提案システムによって、右折待ちによる行列の解消するかを検証する。

2. 提案手法

本研究の目的は1章でも述べたように、リアルタイムで車両の追尾、交差点内の右左折状態の推定を行い、実地での検証を行うことである。これらを要件としてまとめる。

2.1 機能的要件

機能的要件とは、エッジノードおよびシステム全体の機能の要件を表している。

(要件 A1)現在の位置や状態の推定

(要件 A2)データ分析による車両の状態分類

(要件 A1)の位置に関して、2章で述べた研究をもとに DeepSORT の検出器に YOLOv4 を適応することで、wojke ら [9] が提案した検出器に YOLOv3 を適応した DeepSORT より、高い精度での検出と追尾を実現する。さらに、リアルタイムでの処理として、共同研究の東京大学大学院の白畑らの協力のもと、地図上でレーンの設置を行い、どこのレーンに車両が存在するかで推定を行う。

(要件 A2)では、実際に取得したデータに基づいて、データ分析を行い車両の右左折および直進の分類を行うことで、右左折状態の分類を行う。

2.2 性能的要件

性能的要件とは、信号制御において必要最低限の性能の要件を表す。

(要件 B1)信号機の設置されている交差点で停止する行列の末尾までセンシング

(要件 B2)設置コストの抑制

(要件 B3)リアルタイムでの状態推定

(要件 B1)について、交差点の信号制御で停止する車両の行列を全て捉えるために十分な距離を取る必要があり、信号制御における感応式で用いられるセンサを参考にし、信号待ちによる行列の末尾までのセンシングが行えるものとする。

(要件 B2)は信号機のコスト削減の観点から、既往のセンサよりも高価にすることはできない。さらに、消費電力の観点からも低消費電力が求められており、エッジノードとセンサ、制御装置の機材として、低消費電力なものを選定する。

(要件 B3)について、実地検証を行なったのち、リアルタイム性をフレームレートおよび、監視カメラから送られてくる映像データを受け取ったときから中央制御へデータ

を送るまでの処理時間を計測し、動的な信号制御のエッジノードとして十分であるかを検討する。

3. システムの提案手法

前述のそれぞれ要件を満たすためのシステムを提案する。図1は各端末で処理を行う大まかなフローチャートである。

エッジノードでは、送られてくるカメラからの映像を元にYOLOv4で座標を取得する。そこからSORTでトラッキングを行い、その座標データを中央制御機装置にJSON形式で送る。

中央制御機では射影変換を行い、シミュレーションを行ったのち、最適となる信号制御コマンドを信号機の制御装置へ送り、信号機の制御を行う。

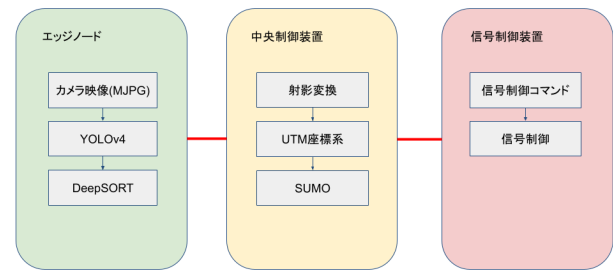


図1 全体のフローチャート



図2 (左) 元画像, (右) 白色部分がマスクされた範囲

3.1 エッジノードで行う処理について

車両の位置を推定する際に監視カメラから得られた動画内にある車両をオブジェクトとして認識する必要がある。そこで、YOLOv4[10]を用いて車両を認識する。ただし、オブジェクトは次フレームでは別のオブジェクトとして認識されてしまうので、DeepSORT[9]を用いて、前フレームで認識したオブジェクトを次フレームでも認識できるようにする。これにより、オブジェクトがバウンディングボックスが画像のXY座標で表すことができるようになる。

車道のみを認識するために、それ以外の範囲については図2のようにマスクを行う。



図3 (左) カメラ画像上4点, (右) 対応する地図上の4点

3.2 中央制御装置で行う処理について

車両大きさ、カメラからの距離によってによってバウンディングボックスのサイズ一定でないことから、射影変換の際は、バウンディングボックスの下辺の中点を座標として定義した。この座標を射影変換し、実際の地図に対応させる。射影変換の式は以下のように求める。

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

$$P' = [X', Y', W']^T = Hp \quad (2)$$

$$P = \frac{1}{W'} P' \quad (3)$$

ここで、 p はカメラ画像の座標、 P は地図上の座標を表している。 (x, y) は画像の左上を原点 $o = (0, 0)$ として正の値を取る座標であり、 H はホモグラフィ行列を表す。射影変換は図3のように道路の角を4点決め、地図でもそれに対応した4点を定める。この点同士からホモグラフィ行列を求めることで、カメラ画像内のオブジェクトの座標がリアルタイムで地図上に反映される。

本研究では、UTM (Universal Transverse Mercator) を用いる。これは、任意の範囲であれば、UTMでも位置のずれが少なく、メートル法であるため扱いやすい。とく

に、距離や速度の計算において緯度経度よりも優れている。また、UTMの範囲については「EPSG:32654 WGS 84/UTM zone 54N」の規格で、東経138度から144度、北半球の赤道から北緯84度の範囲を選択した。

SUMOでは、座標のデータを読み込ませ、車両が交差点を通る時間を予測する。予測した時間から、信号機の制御を白畑ら[5]の提案手法を参考にして信号操作を行う。ただし、右折待ち渋滞の解消には右折待ちの判定を行なったのち、一定の時間経過とともに対向車の信号制御を行う。

また、リアルタイムでの右左折判定を行う際には、白畑らの実装により、図4のように車線ごとにレーンを設定する。射影変換した地図座標から、最も近い位置のレーンに車両があると仮定することで、車両の位置のずれの補正を行う。さらに、交差点内にある右左折レーンにある一定の時間車両が停止していた場合、右左折待ちとして判定を行い、最適な信号制御を行う。

さらに、2社線道路の交差点を想定し、図5のようにシステムを構成した。

またカメラについては、図6のように、交差点中央部から対象の車道の末尾まで見えるように設置する。こうする

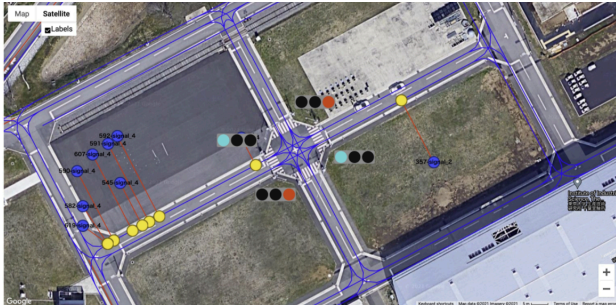


図 4 地図上に設定した青色のレーンと車両位置を表すの黄色の点

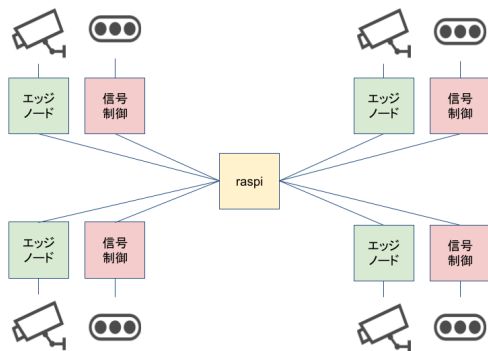


図 5 システム構成図

ことで、行列の末尾と交差点の右左折状態のセンシングを行うことができる。

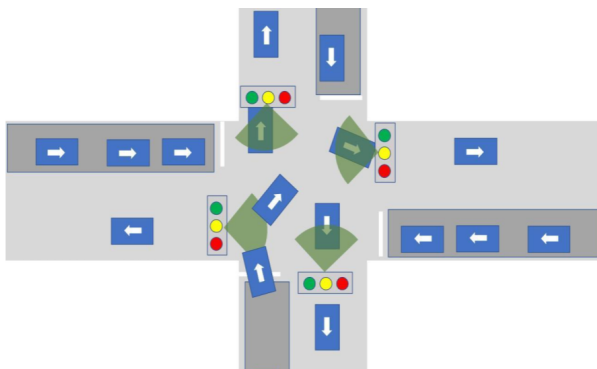


図 6 カメラの設置向き

4. 各機材の設置について

4.1 機器の紹介

前述した要件を満たすエッジノード、中央制御装置、信号制御装置とセンサを表 1 に記す。

機器の選定理由としては、低消費電力と十分な性能があることが理由である。

信号機や渋滞による行列を十分に捉えるために交差点から渋滞の末尾までをセンシングする必要がある。図 7 のように信号機上部へ設置し、コントロールボックスは下部に

表 1 機器の最大消費電力と価格

機器名	最大消費電力 (W)	価格 (円)
Jetson Xavier NX	15	50,490
RaspberryPi4	15	8,800
ネットワークカメラ	9	264,000



図 7 (左) 信号機の柱上部に取り付けられた監視カメラ, (右) 信号機の柱下部に取り付けられたコントロールボックス

設置する。

5. 検証結果と評価

本研究の目的は、1 章でも述べたように「リアルタイムで交差点付近の車両の状態推定」である。これらを検証するためには、以下の条件を満たす必要がある。

- (条件 1)シミュレーションでは無く実空間での実施
- (条件 2)信号の動的な制御を行う
- (条件 3) 2 車道道路の交差点

上記の条件より検証環境として図 8 に示す東京大学柏キャンパス敷地内にある ITS R&R 実験フィールド [11] で実施した。検証には 3 つのシナリオを用意し、評価を行う。

5.1 検証環境

検証環境は、2021 年 7 月 29 日に東大柏キャンパス敷地内の ITS R&R 実験フィールドにて検証を行った。当日は、検証に際して一般公募した 20 台の番号付けがされた普通車両と運転手を用意し、運転手は前述したシナリオに沿って運転を行うように指示した。

また、9 より車道の一番奥までを撮ることができる画角に調整を行なった。さらに、オクルージョンの発生を最低限に抑えるために、正面ではなく斜めからセンシングするようにした。また、カメラの解像度を HD(1280x720) 解像度で道路の末尾まで車両の検出を行えることを確認した。カメラは、システム全体のネットワークに負荷をかけないように、10FPS で撮影を行なった。

対応する車道の上空写真を図 10 に表す。

5.2 検証実験におけるシナリオ

各シナリオは以下の通りである。

- (シナリオ 1)ごく少ない交通需要のもとでの信号待ち時間の解消
- (シナリオ 2)4 方向からの流入と右折待ち行列の発生



図 8 ITS R&R 実験フィールド

表 2 各シナリオの車両の通過パターンの台数

パターン (車道番号)	シナリオ 1	シナリオ 2
1 から 3	10	6
1 から 4	0	1
2 から 4	10	4
3 から 1	10	9
4 から 2	10	0

5.3 検証結果

各シナリオでの交差点の平均通過時間、停止車両台数、通過台数について表 3 に示す。通過時間は、交差点に最初に交差点の停止線を超えた車両の時間から最後の車両が停止線を超えた時間までを計測する。停止回数は、信号操作または右折待ち状態によって車両がとまった回数を表している。

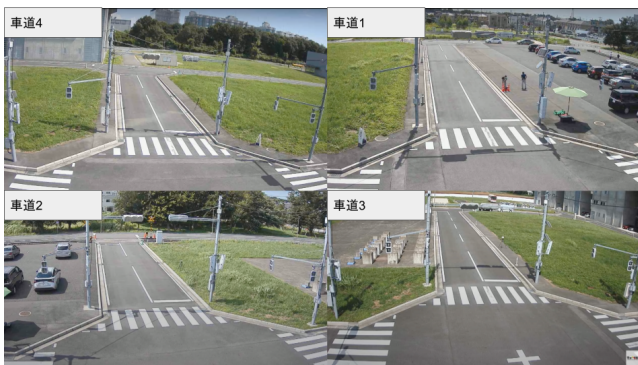


図 9 各カメラ映像: 右上を車道 1, 左下を車道 2, 右下を車道 3, 左上を車道 4 とする。

表 3 各シナリオの結果

シナリオ	通過時間 (分)	停止回数 (回)
動的制御の 1	8:03	7
定周期の 2 (1 回目)	0:53	6
定周期の 2 (2 回目)	0:58	5
動的制御の 2 (1 回目)	0:50	5
動的制御の 2 (2 回目)	0:53	5
動的制御の 2 (3 回目)	0:50	4
動的制御の 2 (4 回目)	1:00	2
動的制御の 2 (5 回目)	0:52	3

また、全体を通した車両の交差点内における右左折状態の台数を表 4 に示す。ただし、シナリオの検証中でない車両も含まれる。

表 4 各車道の交差点に侵入する車両の各状態における台数

車道番号	直進	左折	右折
1	56	9	18
2	26	0	4
3	83	0	0
4	12	0	0



図 10 上空写真

シナリオ 1 では、特に田舎や夜間などで発生しやすいごく少ない交通需要のもとでの信号待ち時間がどの程度発生するかを計測した。

シナリオ 2 では、交差点に対して 4 方向からの車両の流入と右折待ちによる行列を、定周期での信号制御と動的な信号制御で比較検証を行う。

各シナリオの車両の通過パターンの台数を表 2 に表す。ただし、記入していないパターンについては行わなかった。

5.4 評価

右折待ちの状態判定をリアルタイムで行った。ただし、右折待ちの状態の判定は、交差点内で対向車を待つ車両とそれに伴う行列が発生しているか否かで判定を行なっている。表 4 より、全ての状態を捉えることができた車道 1 について分類を行う。図 12 は、車道 1 の交差点付近の軌跡を表す。赤色の軌跡は、交差点へ侵入する側の車線を走る車両の軌跡を描き、黄色の軌跡は、その対向車を表している。

図 11 は、実証実験を行なった全車両の軌跡を表している。

検証当時では、右折待ちの判定は車両の速度変化した際に、右折レーンに車両が存在する場合、右折待ちと判定し、

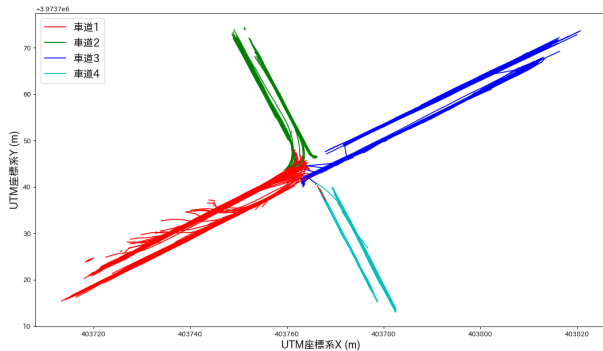


図 11 交差点付近における全車両の軌跡

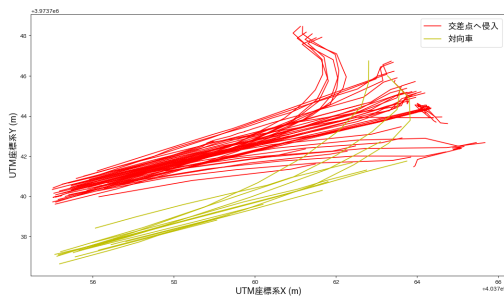


図 12 車道 1 の交差点付近における車両の軌跡

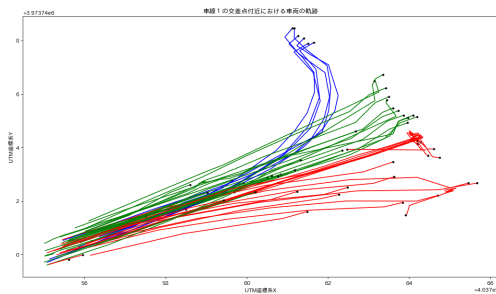


図 13 車道 1 における車両の軌跡: 青色が左折, 緑色が直進, 赤色が右折

対向車側の信号を制御し, 行列の解消を行なった。

ここで, 交差点へ侵入する側の車線を走る車両の軌跡に着目し, 車両の軌跡の座標から 1 次近似を行い, 近似線の傾きによって図 13 のように右左折の分類を行なった。

分類の結果, 全ての車両の状態を分類することができた。

6. 考察

6.1 機能的要件

(要件 A1)現在の位置や状態の推定

(要件 A2)データ分析による車両の状態分類

検証結果より, シナリオ 1 において, 合計通過台数が 40 台であったのに対して, 7 回の停車のいずれも車両の通過待ちによる赤信号での停車であった。このことから, ごく

少ない交通量において, 動的な信号制御が有用である可能性がある。

また, シナリオ 2 において定周期での制御に比べて動的な信号制御を行なった場合, 交差点の通過時間が平均で 0.5 秒短かった。ただし, 動的制御のシナリオ 3 の 4 回目と 5 回目に関しては, 車両を遅らせていたため, 定周期と同条件の動的制御のシナリオ 1 回目から 3 回目までを対象とすると, 交差点の平均通過時間が 51 秒まで短くなる。また, 停止回数に関して, 定周期では平均 5.5 回であったのに対して, 動的制御では平均 3.8 回であった。このことから, 4 方向からの流入がある交差点において, 動的制御型信号機は有用である可能性がある。

以上から, (要件 A1) について車両の現在の位置や状態を推定することで, これらの事象を捉えることができることを実証した。

次に, シナリオ 2 では動的制御型信号機において, 右折待ちの検知を試みた。動的な制御によるシナリオ 2 は合計で 5 回行い, うち 1 回のみ右折待ちを検知したのちに対向車側の信号機を制御し, 右折待ちによる行列の解消を確認した。これは, 対向車が極めて早く交差点を通過したことが原因であり, 特に対向車の末尾の車両に関しては, 信号が切り替わるぎりぎりのタイミングで交差点に侵入してきたことがわかった。実際に, この現象はあらゆる信号交差点で見られたため, この現象を考慮する必要性がある。

さらに, データ分析によって車道 1 のみの車両の右左折状態の分類を行なった。図 13 より, 直線により近い右折がある。これは, 右折待ちを交差点中央付近で行っていたものである。検証においては, レーンを用いた右折待ち判定であったが, 軌跡の近似線の傾きを用いた判定であれば, レーンの設定を行わなくとも車両の右左折および直進判定を行える可能性を示している。

6.2 リアルタイム性

カメラから送られてくるデータに処理を行い, 中央制御装置にデータを送るまでのエッジノードの処理時間を評価する。図 14 は, エッジノードの認識台数ごとに処理時間が上がることを示している。

さらに, 図 15 では, 認識台数別のフレーム数を示している。10 台を認識したのは 4 フレームしかなかったため, データとしての不足していることがわかる。ただし, その他の認識台数に関しては, 十分にデータがあるため, 図?? は正当な評価であると考えられる。

6.3 性能的要件

(要件 B1)信号機の設置されている交差点で停止する行列の末尾までセンシング

(要件 B2)設置コストの抑制

(要件 B3)リアルタイムでの状態推定

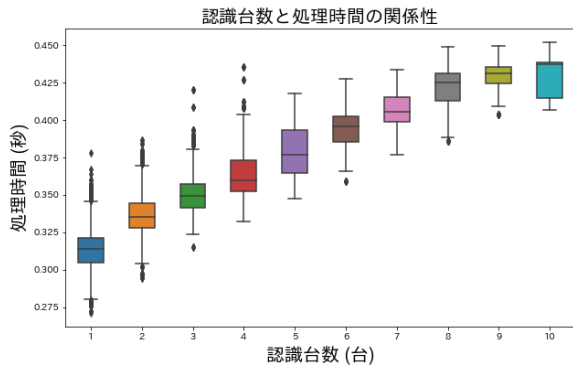


図 14 1 ループの処理時間対認識台数

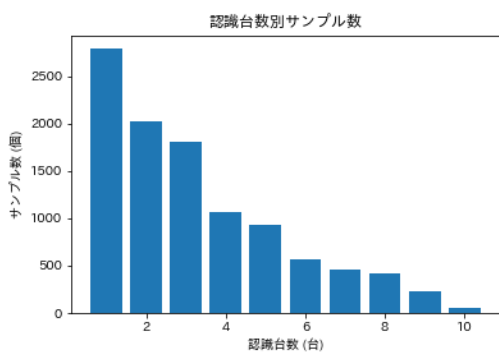


図 15 同時認識台数毎のサンプル数

B1 について、実地での検証において末尾までのセンシングは、車両の速度によっては行えない可能性があることがわかった。これは、車両が速い速度で車道を通過すると、エッジノードの性能的にそれを捉えることが困難になるためである。

B2 について、表 1 より、検証では信号機 1 台に対して雑費も含めおよそ 353,290 円ほどかかることがわかった。センサの相場がおおよそ 20~40 万円ほどであるため信号機センサとしては高価な部類である。ただし、価格の大半をネットワークカメラが占めており、コストの削減を行う余地はあると考えられる。

B3 について、処理はおおよそ 2.0~3.0Hz の速度で行われてお、検証実験においては問題はなかった。ただし、車両の時速はおおよそ 30km で固定されており、実際の道路においては有効でない可能性がある。特に交差点を抜ける車両は停止線付近では、通過速度が速いため認識が遅れる傾向にあることがわかった。

7. まとめ

本研究では、交通工学における交差点のセンシングとして、センサを用いたエッジノードの研究開発を行なった。今回の検証では次世代の信号機としての可能性を見出すことができた一方で、新たな課題もあった。特に、リアル

タイムでの処理は、センサとしての信頼を欠くため、機材やプログラムの検討が必要である。また、状態の分類を行ったので、これらを実際に検証する必要もある。

今後の展望として、データに対するアノテーションおよび Re-id や車両の種類などを考慮したモデルの作成および実証実験の実施をしたい。

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。

参考文献

- [1] 一般社団法人 UTMS 協会. 新交通管理システム / utms (universal traffic management systems) . <https://utms.or.jp/japanese/system/index.html>.
- [2] 竹内久治, 佐竹徳己, 井手幹生. 分散型交通信号制御システム (人に優しい陸上交通システム特集). 三菱重工技報, Vol. 40, No. 3, pp. 174-177, 2003.
- [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 (2022), pp. 4F2GS10m02-4F2GS10m02. 一般社団法人人工知能学会, 2022.
- [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.
- [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 realtime tracking with a deep association metric. In *2017 IEEE international conference on image processing (ICIP)*, pp. 3645-3649. IEEE, 2017.
- [10] Alexey Bochkovskiy, Chien-Yao Wang, and Hong-Yuan Mark Liao. Yolov4: Optimal speed and accuracy of object detection. *arXiv preprint arXiv:2004.10934*, 2020.
- [11] 東京大学生産技術研究所. 東京大学生産技術研究所附属千葉実験所 its r&r 実験フィールド. <http://www.its.iis.u-tokyo.ac.jp/ja/publications/pamphlet/itsRnR201705j.pdf>.