

ドライブレコーダ動画を用いた路上駐停車の判定

Detection of parking on the road using the drive recorder video

松田 明大[†] 松田 裕貴[†] 諏訪 博彦^{†‡} 安本 慶一[†]
 Akihiro Matsuda Yuki Matsuda Hirohiko Suwa Keiichi Yasumoto

1. はじめに

近年、道路交通上の問題が多く存在しており、深刻化・複雑化している。その中でも禁止区域での路上駐停車は社会問題の一つとなっている。2018年に警察庁交通局により行われた路上駐停車に関する調査では、東京都特別区の禁止区域における瞬間路上駐停車台数は約5万1500台であり、2003年のピーク台数より減少している[1]。しかしながら、減少傾向は横ばいとなっており、依然として多くの違法駐停車車両が存在する。違法な路上駐停車はそれ自体が交通上の問題でありながら、様々な問題を引き起こす要因でもある。

路上駐停車によって引き起こされる交通上の問題に、幹線道路における交通渋滞がある。都心部でも片側2~3車線の道路が多く、その中で路上駐停車車両により左端車線が塞がれている場合、道路容量が1/2~2/3に減少する。本来の道路容量でさえ、時間帯によっては渋滞が起こるため、さらに深刻な時間的損失が生まれることになる。また、駐停車車両への追突が挙げられる。通常、ブレーキランプやハザードランプにより駐停車車両を判断し避けることが可能であるが、ランプによるサインが無い場合や前車が急に車線変更を行った際に、避けきれず追突する可能性がある。特に夜間では光源情報が運転に重要であることや、昼間に対して車両速度が上がることから、重大な追突事故は免れない。さらに、駐停車車両の影からの飛び出しなどの人身事故が挙げられる。駐停車車両が存在することにより視界が遮られ、反応速度の低下が起こる。そのため、ハンドル操作やブレーキ操作に遅れが生じて事故を招く。また、道路上におけるあらゆるヒヤリハットの要因になるなど[2]、路上駐停車車両は、道路交通網への著しい障害やそれらを引き起こす要因となっている。

以上の問題に対応するため、総合的な路上駐停車対策の推進として、駐車規制区間の緩和や延長、時間制限駐車区間の実施を検討するなど多くの試みが図られている。しかし、これらは根本的な解決とはならず、既存の問題が複雑化することも考えられる。さらに、国や行政など

の大規模な協力が必要であり、莫大なコストと時間が必要である。

違法な駐停車問題の解決を目指した定点カメラによる駐停車を検出する研究がある。この研究では、街の中に設置されている定点カメラを用いて路上駐停車の検出を行なっている。しかし、定点カメラではある一定のエリアのみの検出であることや、設置場所が限られているため情報量が圧倒的に少ないことなど問題が挙げられる。

そこで本研究では、車両に搭載されているドライブレコーダの動画を用いて、効率的に路上駐停車車両の判定を行う手法を提案する。ドライブレコーダは街のあらゆる状況を録画しているため情報量が圧倒的に多い。また、定点カメラとは違い、移動しながら録画するためエリアの制限を受けない。そのため、従来の手法よりも効率的に道路交通上のあらゆる情報を収集することが可能である。

2. 関連研究

2.1 ドライブレコーダ動画を用いた物体認識

ドライブレコーダの動画を用いた物体認識の研究として、原らはディープラーニングの手法の一つである畳み込みニューラルネットワーク(Convolutional Neural Network: CNN)を用いて方向別歩行者の頭部検出法を提案している[3]。従来手法では、人の動きを検出する手法や人の形状を検出することで歩行者を認識していたが、植え込みなどによる遮蔽を考慮し、検出対象を頭部とすることで問題解決を図っている。ドライブレコーダにより撮影された映像の1フレーム(静止画)に対して、画像内の物体の場所とクラスを決定するために、CNNによる頭部検出分類器を構築し、様々なパラメータやニューラルネットワーク構造を変化させながら、分類器の評価検討を行っている。また、頭部を方向別に検出するために、物体検出アルゴリズムの一つであるR-CNN(Region-based CNN)[4]を用いている。

結果は車の進行方向に対する前方頭部のPrecisionが40.0%、Recallが58.1%、後方頭部のPrecisionが59.0%でRecallが43.4%であった。PrecisionとRecallともに精度が低くなっている。これは帽子や傘などの外乱の影響により頭部検出に問題があることが挙げられる。また、学習データ数が少ないことから十分な学習モデルを作成できていないことが挙げられる。さらに、検出手法

[†] 奈良先端科学技術大学院大学, Nara Institute of Science and Technology

[‡] 理化学研究所 革新知能統合研究センター(AIP), RIKEN Center for Advanced Intelligence Project (AIP)

である R-CNN では計算量が多く、ある一定の速度を持ったドライブレコーダの動画ではリアルタイムの検出は難しいことが挙げられる。

2.2 センサを用いた路上駐車車両の検出

効率的な駐停車車両の自動認識システムの開発として、小野らは車両にレーザレンジセンサを搭載し、路上駐停車車両の自動検出を行う手法を提案している [5]。レーザレンジセンサは、物体検出において奥行き情報が得られる。また、通常のカメラとは異なり、光源環境など撮影条件の変動に比較的安定である。レーザレンジセンサは、計測時間の短いラインスキャンを繰り返すラインスキャン方式により、一度の計測で二次元の領域を長方形形状にスキャンする。小野らの研究では、検出する対象車両が計測車両の左側で適当な奥行き位置に存在し、かつ適当な大きさを持つ物体を全て駐停車車両としている。また、出力の弱いレーザレンジセンサでは反射率の低い黒色の物体は鮮明な像が得られず、車両を認識できない可能性が高いため、二種類のアルゴリズムが提案されている。

一つ目の手法は、車体側方シルエットに着目した手法である。レーザレンジセンサにより得られたデータを三次元形状へ復元を行う。その形状復元したデータのヒストグラムをとると、車両が存在する付近にヒストグラムのピークが現れる。この特徴を利用し、車体側面点群を抽出して駐停車台数を計数する。しかし、この手法では車両がおおよそ一定の距離で整列していることや、そもそも黒色の車両に関しては計数できないなど様々な問題がある。

そして、二つ目の手法は路面上の遮蔽に着目した手法である。レーザの反射率は対象物体表面の材質や色によって変化する。先に述べた通り、特に黒色に対しては反射率が低くなり、ノイズや検出漏れが起こる。そこで、車両によって発生する路面上の遮蔽領域（影）を計測し、台数計数を行なった。しかし、この手法も初めにスキャン角度や領域をキャリブレーションしセンシングしているため、大型車の計数が難しいことや影の位置が光源に左右されるため、誤差が生じやすいことなどが問題となる。

2.3 定点カメラを用いた駐停車車両の検出

Bernal らは、街中に設置されている定点カメラを複数台用いて、短期的な駐停車を検出するシステムを開発している [6]。センサーによる検出手法では、導入やシステムの維持にコストがかかるため、すでに設置されている定点カメラを用いた検出システムを提案した。駐車時間が制限されているスペースに長時間駐停車する車両を取り締まるため、そのスペースに近づいてくる車両をトラッキングし、駐停車したところからカウントが開始さ

れる。トラッキング及び検出は、データの連続フレームの少なくとも一つに入っている場合に開始される。駐停車した車両のカウントは、4分を過ぎると警告され、然るべき機関へ送信される。しかしながら、Bernal らの検出システムでは、長時間の駐停車違反の取り締まりを効率化するために開発されたため、処理の流れが異なっている。路上駐停車の特徴として見られるハザードランプや車線を超えて停車しているなどを検出せず、駐車スペースに停車する車を全て検出している。定点カメラは、道路を上から見下ろす形で録画しているため、路上駐停車の特徴の判定が難しい。また、一台の定点カメラではなく、複数台用いて処理を行う必要がある。検出可能な区域は、時間制限のある駐車スペースの車両のみであり、条件が限りなく限定されていることなどの問題が挙げられる。

2.4 関連研究の問題点

関連研究で述べた問題点・課題を以下にまとめる。

- 外乱の多さによる認識精度の低下
- リアルタイムでの検出が難しさ
- 限定的な車両の認識
- 限定的な区域の情報
- コストの高さ

本研究では、以上の問題を全て解決するためにドライブレコーダ動画を用いたシステムの提案を行う。

3. ドライブレコーダによる路上駐停車判定

近年、車両へのドライブレコーダの搭載数は年々増加している [7]。ドライブレコーダの動画は事件・事故、あおり運転など交通上の問題が起こった際の証拠を記録するためや、娯楽や趣味として視聴・保存するために活用される。また、撮影された動画は車内から外の様子を録画しているため、効率的な情報収集が実現されている。ドライブレコーダの動画を用いた先行研究は存在するが、路上駐停車の検出を行なった研究は見当たらない。そのため、路上駐停車の判定手法を考える上で、ドライブレコーダの動画から実際の道路状況を確認し、判定に向けた定義設定を行う必要がある。

3.1 ドライブレコーダ動画

ドライブレコーダの動画は、タクシー会社から提供していただいているものである。録画対象地域は、京都市内及びその付近である。動画は、2019年3月15日から2019年4月7日までの期間に7台のタクシーによって録画された。録画されたデータは、ドライブレコーダを搭載している車両の速度や車両に対する右車線と左車線との距離、GPS情報など多くの情報を保持している。

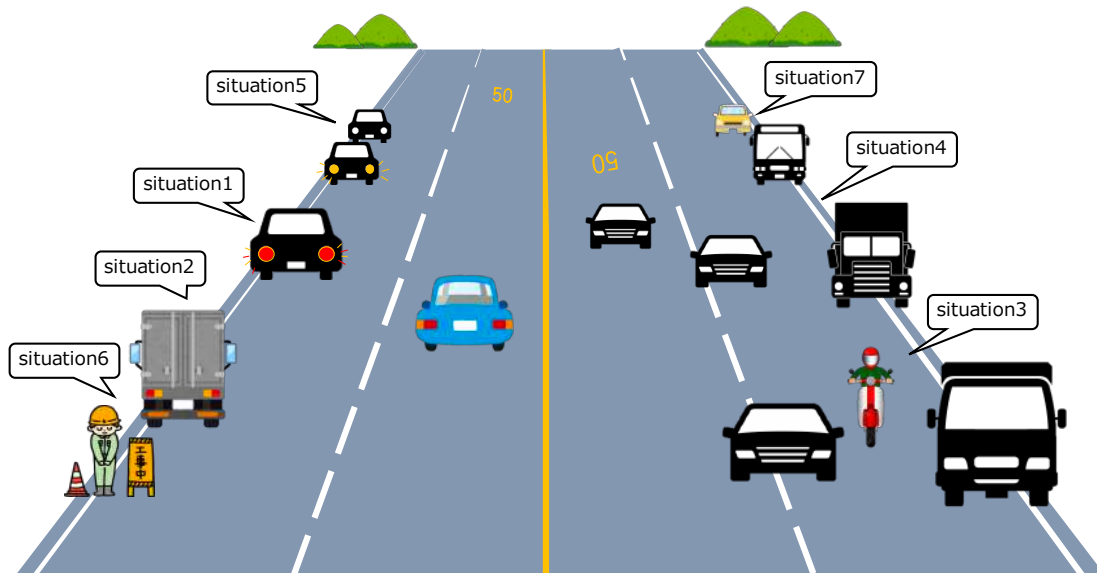


図 1: 路上駐停車によって起こる様々な状況



図 2: 普通乗用車による路上駐停車



図 3: 大型車による路上駐停車

3.2 実際の路上駐停車状況

実世界では、様々な路上駐停車が存在する（図1）。ブレーキランプを点灯させず駐停車する、ハザードランプを点灯させて駐停車している典型的なケース（situation1, situation2）や危険な状況が含まれるケース（situation3, situation4）、路上駐停車の判断が難しいケース（situation5, situation6, situation7）などがある。これらのケースについて、ドライブレコーダ動画から具体的なケースを画像として抽出し、整理する。

3.2.1 典型的な路上駐停車の状況

図2は、典型的な路上駐停車の状況であり、画像に対して左側前方のシルバーの普通乗用車が路上駐停車車両である。ブレーキランプを点灯させながら、ハザードランプを点灯させている。

図3は、作業車などの中～大型車の例である。この車両は、ブレーキランプ及びハザードランプを点灯させずに駐停車している。また、車体が大きくなるほど車線の占有率が高くなり、走行可能な領域が狭くなるため危険性が増す。さらに車体が大きくなるにつれ死角も増え、人身事故につながる危険性も高まる。

3.2.2 路上駐停車によって起こる危険な状況

図4は路上駐停車によって起こる危険な状況の一例である。画像中央より左側に路上駐停車車両があり、その車両を避けるためにタクシーは元の左車線から右車線に移り走行している。その際に、二輪車が路上駐停車車両を避けるために左車線から右車線との境界線を走行しており、接触の可能性が高い危険な状況である。

図5では、路上駐停車車両が大型車であり、車線の占有率が大きくなっている。そのため、左車線を走行する車両は右車線との境界線を越えながら走行している。図4と同様に、接触や追突が起こる可能性が高い危険な状況である。

3.2.3 路上駐停車の判定が難しい状況

路上駐停車の判定が難しい状況は多くある。通常考えられる路上駐停車の特徴に当てはまらないことや道路の複雑な状況、人の目でさえ判断できないことが、その原因である。

図6は、片側二車線を分離する白線が消えかかっている。このような状況では、車線同士の間隔が明確となっ



図 4: 路上駐停車による危険な状況 1



図 7: 工事車両による路上駐停車



図 5: 路上駐停車による危険な状況 2



図 8: 路上駐停車であると判定が難しい状況

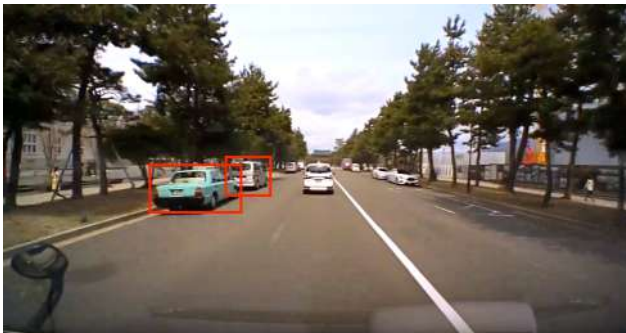


図 6: 白線が消えかかっている状況での路上駐停車

ておらず、情報源が減少し路上駐停車車両が路肩に寄っている様子を判断することは難しくなる。また、路上駐停車している車両が縦列しているため、奥の車両の情報取得が遅れることや取得できない状況となる。その場合、路上駐停車であると判定することが難しいと考えられる。

図 7 は、道路工事に伴う路上駐停車である。この場合は、工事に使用する重機などの作業用機械や進入禁止区域を示すためのカラーコーンなどがあり、認識の妨げとなる可能性がある。また、特殊車両などを連結している場合や積載している場合にも路上駐停車であるとの認識の妨げとなると考えられる。

図 8 は、観光地の狭い道路における路上駐停車である。前方のバスと車両が路上に停車しているが、ブレーキランプを点灯させたまま車線中央付近に停車している。この動画を録画していたタクシーは、動画内で前方の二台の停車車両を追い越していた。そのため、前方の軽自動車はその先のバスを待つために停車している訳ではなく、路上に駐停車していることになる。このような状況は特異的な例であり、人の目でも路上駐停車であると判断することが難しい状況の一つである。

このような状況は特異的な例であり、人の目でも路上駐停車であると判断することが難しい状況の一つである。

3.3 路上駐停車の判定における課題

先に示した実際の路上駐停車状況から確認できる通り、状況はそれぞれ異なる。そのため、典型的な路上駐停車の状況をもとに判定基準を考える必要がある。そして、天候や道路の状況によって様々な外乱が発生するため、判断基準をもとに処理を行う必要がある。さらには、図 3 や図 4 にも現れている通り、フロントガラスに車内の一部が反射している。ドライブレコーダを搭載する車両の手前部分にダッシュボードの一部が反射しており、判定においてノイズとなりうるため、前処理の際に考慮する必要がある。

そして扱うデータは、路上駐停車の判定条件から動画の 1 フレームのみの情報ではなく、時系列データとしての情報を持つ必要がある。ブレーキランプが点灯しているかどうかの判断は、動画から切り出した 1 フレームの画像のみで判断することは難しい。切り出した 1 フレームの次のフレームではブレーキランプが点灯していない



図 9: 路上駐停車の判定に向けたアプローチの流れ

可能性があるからである。そのため、認識対象である路上駐停車車両の認識が開始されてから、フレームアウトするまでの時系列データによる判定が必要である。これはハザードランプの点灯による判定でも同様であり、ハザードランプは点滅しており1フレームの切り出しでは点灯していない可能性があるため、複数フレームによる時系列データからの判定が必要である。ここから複数フレームの画像データを一つの学習データとする。また、ドライブレコーダを搭載する車両は移動しているが、認識対象である路上駐停車車両は停止している。そのため、時系列データを扱うに際し、速度差を考慮する必要がある。

さらに今回、切り出した画像データは、日中の天候の良い状況である。周囲が明るい情報量の多い状況であるため、路上駐停車車両のランプサインや道路の車線、その他交通状況を認識可能である。しかし、夜間や悪天候、また道路情報が減少している状況では、路上駐停車判定の妨げになると考えられる。

4. 路上駐停車判定のアプローチ

ドライブレコーダ動画による路上駐停車の判定に向けて、判定条件をもとにした機械学習・深層学習によるアプローチについて述べる。

4.1 路上駐停車の判定条件

先にも述べた通り、路上駐停車を判定するために、車両が路上駐停車しているという状況を定義する必要がある。そのため、実際の路上駐停車状況から共通する特徴を確認し、条件の設定を行う。以下にその条件を列挙する。

4.1.1 ブレーキランプによる判定

道路上で車両のブレーキランプ（尾灯）が点灯せずに車両が停止している場合は、路上駐停車している状態の要素の一つである。通常、道路上で信号機や一時停止等で一時的に停止する際には、ブレーキを踏み停止する。マニュアル（MT）車では、停止状態をブレーキを踏まずに維持することもあるが、近年ではオートマ（AT）車が販売比率のほとんどを占めているため、そういった場

面はほとんど無くなっている。さらに、安全面の観点からブレーキランプを点灯させずに停止するのは追突される危険性や、他のトラブルに起因するため危険である。以上から、道路上でブレーキランプを点灯させずに停止状態である車両は、路上駐停車車両であると考えられる。

4.1.2 ハザードランプによる判定

ハザードランプ（非常点滅表示灯）を点灯させて車両が道路脇に停止している場合は、路上駐停車している状態の要素の一つである。路上駐停車をしている車の多くは、停車していることを知らせるために、ハザードランプを点灯させている。そして、ほとんどの車がブレーキランプを点灯させずに、ハザードランプのみを点灯させて停車している。しかし、ハザードランプは本来の用途とは異なる状況で使用されることが多い。後続車へ感謝の意を表す「サンキューハザード」と言われものや、後続車に渋滞を知らせるハザードランプなどである。このように多くの用途があるが、道路脇にハザードランプを点灯させた状態で停車しているのは、多くの車両が路上駐停車車両であると考えられる。

4.1.3 車線占有率による判定

車両の道路幅に対する占有率が低い、または車両の左右のタイヤがセンターラインとは反対側の車道外側線に寄っている場合や超えて停車している場合は、路上駐停車車両の要素の一つである。路上駐停車する車両は、道路脇に停車するためにこのようなことが起こる。路上駐停車は、走行車線の左側の道路脇で起こるため、車両のタイヤと車線の右白線との距離が極端に遠くなる。そのため、ドライブレコーダの動画に対して判定すべき対象である路上駐停車車両は、動画の中心から左領域に集中する。したがって、動画の中心部から左領域に存在し、車線の占有率が低いことや車両のタイヤが車道外側線をまたがって停車している場合は、路上駐停車車両であると考えられる。

4.2 路上駐停車判定の流れ

図9にアプローチの流れを示す。以下に路上駐停車を判定するための手法について述べる。

1. タクシー会社により提供していただいている京都市内及びその付近を録画した動画を生データとして扱う。ドライブレコーダの動画は、車両のエンジンが始動してから録画が開始されるため、動画にはタクシー会社を出る前のデータや車両の写っていないデータなどを含んでおり、前処理を行う必要がある。
2. 先に述べた路上駐停車の判定条件をもとに、ドライブレコーダの動画から路上駐停車であると判定可能な車両に対してラベリングを行う。ラベリングするデータは、手法によって異なる。選択するモデルが車両など物体認識の学習済みモデルの場合は、ラベリングするデータは路上駐停車の画像のみである。モデルを一から作成し学習する場合は、車両に対する認識を学習させる必要があるため、車両画像と路上駐停車画像の両方をラベリングする必要がある。

そして、ラベリングする路上駐停車車両は判定条件のそれぞれ一つの特徴のみを満たすだけでは不十分であると考えられる。ブレーキランプの点灯のみでは路上駐停車であると判定できないため、判定条件を複数満たす車両を路上駐停車としてラベリングする。
3. ラベリングしたデータは画像であり、前処理を施す必要がある。路上駐停車車両を学習させるためには、その対象のみではなく判定条件から考えると、道路の白線など周囲の状況も必要な情報である。そのため、バウンディングボックスを用いて認識対象の領域を抽出する。また、画像のリサイズや車両検出、車線検出のための輪郭抽出、また二値化処理や閾値処理などの前処理を行う。
4. 前処理した画像データによるデータセットを作成する。作成したデータセットによって学習したモデルを評価するために、交差検証（クロスバリデーション）などの検証を行う。その際、検証を行うにあたり訓練用データ・検証用データ・テスト用データに分ける必要がある。そのためにはデータ数が十分に必要である。限られたデータ数の中ではデータの拡張を行う必要がある。前処理したデータに対して画像の輝度変化、回転、反転等させデータを拡張させる。
5. 物体検出に用いるアルゴリズムを決定する。様々なアルゴリズムがあり、関連研究では R-CNN を使用していた。しかしながら、R-CNN は計算量が多くリアルタイムでの検出が難しいと考えられ

る。認識精度が高く、計算量の少なさからリアルタイムでの検出が可能である手法として YOLOv3 (You Only Look Once) が挙げられる [8, 9]。R-CNN では、Selective Search により画像から領域候補 (Region Proposals) を探し、1 枚の画像から 2000 個程度の候補の切り出しを bounding box により行なった後に、画像をリサイズして CNN に入力する。それに対し YOLO では、画像全体をグリッド分割し、分割した各領域毎に物体のクラスと bounding box を求める。そのため、YOLO は画像の領域候補を探し出さずに画像全体を一度だけ認識し、CNN により物体の検出からクラス分類まで行うため、計算量が減りリアルタイムでの検出が可能となる。以上から、YOLOv3 を物体認識のアルゴリズムとして用いることを検討する。

6. 物体認識の学習済みモデルの場合と路上駐停車及びそれ以外の車両を認識する学習モデルの場合でも、路上駐停車の訓練用データを学習させ、学習モデルを作成する必要がある。しかし、物体認識の学習済みモデルの場合は、情報量の多いドライブレコーダ動画の中で、あらゆる物体を認識してしまい計算負荷が大きくなると考えられる。
7. 訓練用データで学習したモデルにテスト用データを入力し、評価を行う。モデルの精度評価手法は、Precision や Recall, F 値や IoU (Intersection over Union) など多く存在する。物体認識モデルの認識精度を向上させるためには、ハイパーパラメータの調整や特徴量の追加、データ数の増加が必要となる。そのため、生データであるドライブレコーダ動画の追加とそれに伴うラベリングされたデータの追加、前処理手法の検討や物体認識アルゴリズムの手法検討などを行う必要がある。

5. おわりに

社会問題となっている路上駐停車を解決するために、ドライブレコーダ動画を用いた路上駐停車の判定について述べた。また、路上駐停車は状況によって異なるため、実際に録画されたドライブレコーダ動画を確認した。そして、様々な状況を切り出し、路上駐停車の判定条件を明確にした。それらをもとに、機械学習・深層学習を用いた路上駐停車の判定に向けて、具体的な手法の流れについて述べた。

今後の展望としては、データセットの作成に向けて路上駐停車の判定条件を満たす画像データに対して、ラベリングを行う。そして、リアルタイムでの検出に向けて精度が高く処理速度の速い物体認識アルゴリズムである

YOLOv3 を用いてモデルを作成し，データセットの有用性とモデルの評価を行う。

謝辞

本研究を実施するにあたり，株式会社デンソーテン様よりドライブレコーダ動画の提供をいただいた。ここに記し感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 全日本駐車協会東京駐車協会. 駐車対策の現状, 2019. <http://www.japan-pa.or.jp/20190208/4255>.
- [2] 赤坂俊哉, 田沼正蔵, 岡田有策. ヒヤリハットを活用した安全活動における気付きの育成. *安全工学*, Vol. 52, No. 5, pp. 308–317, 2013.
- [3] 原佑輔, 小島颯平, Mahmoud Elhamshary Moustafa, 内山彰, 梅津高朗, 東野輝夫. 車載カメラを用いた cnn による方向別歩行者頭部検出法の提案. Technical Report 24, 2016.
- [4] Ross Girshick, Jeff Donahue, Trevor Darrell, and Jitendra Malik. Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pp. 580–587, 2014.
- [5] 小野晋太郎, 平原清隆, 影沢政隆, 池内克史. 車載レンジセンサを利用した路上駐車車両の自動検出. *電子情報通信学会論文誌 A*, Vol. 88, No. 2, pp. 247–256, 2005.
- [6] Edgar A Bernal, Zhigang Fan, Yao Rong Wang, Robert P Loce, Norman W Zeck, and Graham S Pennington. Video-based detector and notifier for short-term parking violation enforcement, October 10 2013. US Patent App. 13/441,294.
- [7] 電子情報技術産業協会. ドライブレコーダー統計出荷実績, 2018. <https://www.jeita.or.jp/japanese/stat/drive/>.
- [8] Joseph Redmon, Santosh Divvala, Ross Girshick, and Ali Farhadi. You only look once: Unified, real-time object detection. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pp. 779–788, 2016.
- [9] Joseph Redmon and Ali Farhadi. Yolov3: An incremental improvement. *arXiv preprint arXiv:1804.02767*, 2018.