

走行時動画像を用いた多車線検出および補完手法

塚本 幸宏^{1,a)} 石崎 雅大² 廣森 聡仁² 山口 弘純² 東野 輝夫²

概要：

交通状況の把握及び交通事故の防止を目的とし、車載カメラを用いて、車両の周辺状況を把握する取組が為されている。これらの手法では、画像認識技術を活用することにより、動画像中の物体を把握し、車両の周辺に存在する物体を認識しているが、周辺物体と自車間の距離、自車の速度など、周辺物体との位置関係を把握するために、カメラの画角、設置高、設置角度など、カメラの特性や設置位置などを必要とする。本取組では、自車と周辺物体の位置関係の把握や距離を推定するために、車載カメラにより撮影された動画像のみから、通行する道路の基準となる複数の車線を検出する手法を提案する。提案手法では、フレーム単位の車線検出処理に加えて時系列の変化に基づく検出処理を施すことで、フレーム内での推定処理で検出されなかった車線の補完と、誤検出された車線の除去を実現する。実際の車両に搭載された車載カメラを用いて動画像に対し、提案手法を適用した結果、直線道路に対しては95.97%、カーブの大きい道路に対しては90.65%の精度で車線を検出した。また、時系列情報を用いて誤検出の除去や検出漏れの補完を行うことで、フレーム単位では検出の難しいフレームにおいても車線を検出できることを示す。

1. 背景

近年、車載カメラを搭載した車両が増加しており、これらの車載カメラで撮影された動画像により、車両の周辺状況を把握することで、渋滞規模の把握や交通事故の削減など、交通状況の改善が期待される。深層学習の発展により、動画像中の物体を把握することが可能となっており、車両の周辺に存在する物体を認識することはできる。しかしながら、周辺物体と自車間の距離、自車の速度など、周辺物体との位置関係を把握するためには、カメラの画角、設置高、設置角度など、カメラの特性や向きなどを必要とする。

本取組では、自車両の周辺状況の把握に際し、自車と周辺物体の位置関係の把握や距離を推定するために、撮影された動画像のみから、通行する道路の基準となる複数の車線を検出する手法を提案する。カメラにより撮影された画像により車線を検出する既存方法の多くは、撮影されたフレーム毎で車線検出を行う。しかしながら、車線が点線で描かれている場合やかすれている場合など車線が明確に撮影されていないフレームや、太陽光の明暗や影の存在により、一時的に強いエッジが発生しているフレームに対しての車線検出は困難となる。これらの課題を解決するために、

提案手法においては、フレーム単位での検出処理に加えて、時系列の変化に基づく検出処理を施す。一般に、車線の位置や本数は短い時間において大きくは変化しないため、前フレームと検出結果が大きく変わることはない。この特徴により、前フレームの検出結果に基づき、現フレームの車線を検出する際、車線境界線の交点として得られる消失点に従い、フレーム内での推定処理で検出されなかった車線の補完と、誤検出された車線の除去を実現し、様々な環境における車線推定を実現している。評価実験においては、実際の車両に搭載された車載カメラを用いて動画像を収集し、提案手法を適用し車線検出を行った結果、直線道路で95.97%、カーブの大きい道路で90.65%の精度で検出できることを示す。また、時系列情報を用いて誤検出の除去や検出漏れの補完を行うことで、フレーム単位では検出の難しいフレームにおいても車線を検出できることを示す。

2. 関連研究

2.1 車線検出に関する研究

最も単純な車線検出手法として、エッジ情報を用いた直線検出が挙げられる [1], [2]。文献 [1] では、エッジ検出とハフ変換による直線検出を用いた車線検出手法と、白線または黄色い線で描かれた車線境界線を強調する手法が示されている。しかしながら、一般的にエッジ検出は画像内の輝度が極端に大きい部分や小さい部分の影響を大きく受けるため、白いガードレールや、大きな建物の影が存在するよ

¹ 大阪大学 基礎工学部情報科学科

² 大阪大学 大学院情報科学研究科

Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

a) y-tukamt@ist.osaka-u.ac.jp

うな画像に対しては、エッジ検出のみで車線を検出することは困難である。文献 [2] では、エッジ検出と LSD による直線検出に、車線の色の情報を用いた領域特定を組み合わせることで、直線検出の不正確さと色情報を用いる計算量の多さを補い合う手法が提案されている。一方、投影された 2 次元画像では平行線が消失点に収束するという特徴を利用した車線検出手法も数多く提案されている [3], [4], [5]。例えば、文献 [3] ではエッジ検出により消失点の推定を行い、消失点を通る直線とのオーバーラップ率が高い線分を見つけることで車線を検出している。消失点推定の別のアプローチとして、文献 [4] と文献 [5] では、ガボールフィルタ [6] を用いて計算されるテクスチャ方向に基づく消失点推定が提案されており、車線境界線の描かれていない道路に対しても車線を検出できることが示されている。また、車線検出の計算量の負荷を軽減する手法が提案されており、文献 [7] では統計ハフ変換を用いて車線検出を行い、particle filter を用いてその車線を追跡することで計算量を削減できることが示されている。上記の手法では、直線車線しか検出することができないが、曲線車線を検出する手法も提案されている。文献 [8] では、連続するフレームで一定の高さの水平なスキャンラインを切り出し、それらを時系列順に並べることでその高さでの車線境界位置を特定しており、直線検出を利用しないため、直線車線だけでなく曲線車線も検出することが可能となっている。自動運転車の実現に向けた車線検出手法も数多く提案されている。例えば、文献 [9] では逆遠近法マッピング [10] を用いてカメラ画像から俯瞰画像を作成し、複数のフレームにおける俯瞰画像を車両の速度に基づき融合することにより、車線を検出している。この際、融合された俯瞰画像に対し最小二乗フィッティングアルゴリズムを適応することで曲線車線の検出を可能にしている。さらに、検出された車線をカルマンフィルターを用いて追跡する手法についても示されている。同様に、文献 [11] でも逆遠近法マッピングを用いた車線検出手法が提案されている。逆遠近法マッピングはカメラの画角などのパラメータが必要となるが、画像の遠近効果を取り除くことができるため、自動運転車などのカメラパラメータが既知である場合の車線検出において有効な手法である。

2.2 本取組の位置付け

既存手法の多くは、車線逸脱防止を目的としており、そのため、単一の車線を検出する手法として提案されている。一方、本取組では、自車両が走行する車線内における周辺状況だけでなく、より広い範囲での周辺状況も把握できるよう、車両が走行する可能性のある領域を特定し、車両の周辺状況把握に利用することを目的としており、複数の車両を検出する手法である点で、既存手法と大きく異なっている。また、車載カメラで撮影された画像のみから、車線

検出を行う手法であり、特別な機器を必要としない点で、より安価なシステムとして実装できるものである。

3. 車線検出手法

図 1 に、提案する車線検出手法の概要を示す。まず、前処理として、車線が映る可能性がある領域の抽出と、画像中のある高さにおける車線境界位置の軌跡を抽出するために用いる時空間画像の作成を実施する。それらの処理に引き続き、フレーム単位の車線境界候補選出では、前処理段階で作成した時空間画像に対し、画像上の複数の高さにおける車線境界線の位置を推定し、車線境界位置を示す点群を得た後、これらの点群を車線境界線毎にクラスタリングすることで車線境界候補を選出する。最後に、時系列情報を用いた車線検出処理として、選出した車線境界候補に対する誤検出の判定、過去の検出結果と比較することにより、車線境界の検出漏れの検出、誤検出の除去、検出結果の破棄や補完を行う。

3.1 前処理

3.1.1 時空間画像の作成

時空間画像を作成し、ある高さでの車線境界線位置を検出するという手法は、文献 [12] に基づく手法を参考している。一般に車両は車線に沿って走行するため、車載カメラで撮影された動画内のある高さのピクセルラインにおける車線境界線の位置は、時間経過に伴い大きくは変化しないことが想定される。ある高さにおけるピクセルラインを時系列順に並べることで、図 2 右上に示すような、動画上の一定の高さにおける車線境界線の位置の軌跡が得られる。しかし、このままでは車線境界位置の推定には不適切であるため、ピクセルライン毎に前フレームのピクセルラインとの輝度値の差の和が小さくなるように、横方向にシフトしつなげる処理を繰り返す。この処理によって、図 2 右下のような車線境界位置が一直線に並ぶ時空間画像が得られる。

3.1.2 車線が映る領域の抽出

時空間画像を作成する高さの数を最小限にするためには、動画上で車線の映っている領域を特定する必要がある。車載カメラの動画においては、太陽光がフロントガラスに反射するフレアや、車両のボンネットが映り込んでいる領域など、車線が映らない領域も存在するため、予め検出対象とする領域から外し、それ以外の領域で車線を検出することが好ましい。まず、フレアが存在する領域を特定する手法について述べる。フレアは動画上でその絶対位置が変化せず、常に輝度が高い領域として定義することができる。従って、入力動画の数フレームをグレースケール画像に変換し、どの画像においても輝度の高い部分を求めることでフレアの存在する領域を特定することができる。同様に、空もこの条件に当てはまるため、車線が映

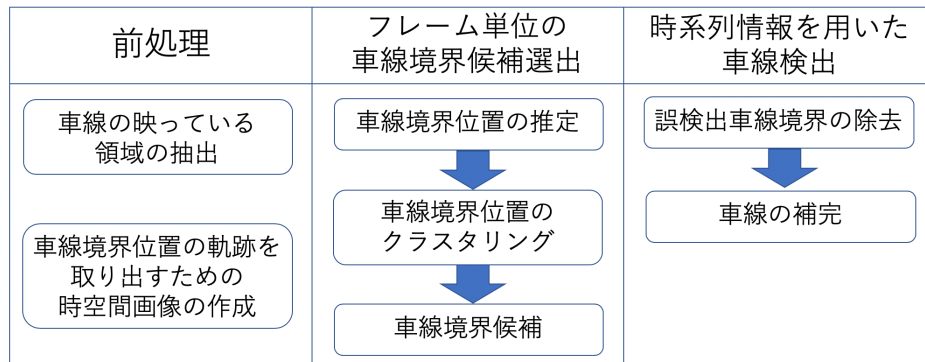


図 1: 車線検出の流れ

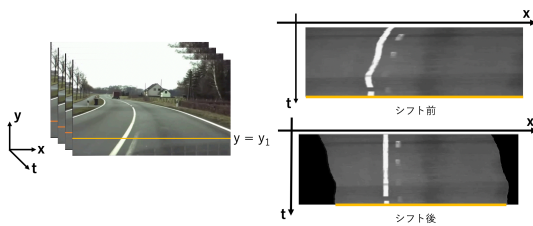


図 2: 時空間画像の作成

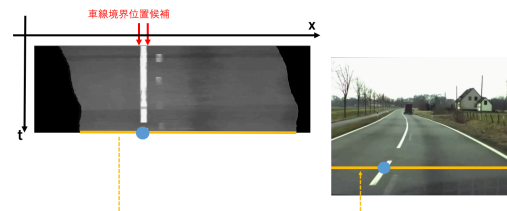


図 4: 車線境界位置の推定



図 3: 動画像上の有効範囲

らない空の領域も特定することができる。次に、ボンネット部分を特定する方法について述べる。ボンネット部分は動画像上で常にその絶対位置が変化せず、色の変化のない領域として定義することができる。従って、入力動画像の数フレームにおいて色の変化の少ない部分を求めることでボンネット部分を特定する。これらの領域を含まず、画面中央に近い領域を求めることで、車線の映っている領域を特定することができる。図3にフレアやボンネット部分を取り除き、車線の映っている領域を特定した例を示す。

3.2 フレーム単位の車線境界候補選出

3.2.1 車線境界位置の推定

車線境界位置の推定には、車線境界位置を推定したいフレームまでに作成した時空間画像を使用する。この時、推定される車線境界位置の画像上での高さは、使用する時空間画像を作成した際の高さ Y_{st} である。図4に時空間画像を用いた車線境界位置推定の参考図を示す。まず、車線境界位置を推定したいフレーム (TargetFrame) において、高さ $Y = Y_{st}$ 上のピクセルライン (図4の黄色い線) を抽出し、色の変化の大きい箇所を車線境界位置の候補 (図4の赤い矢印) とする。次に、抽出したピクセルラインを高さ $Y = Y_{st}$ で作成した時空間画像に新たなピクセルラインと

して追加し、時空間画像の更新を行う。その後、時空間画像上の車線境界位置が並んでいる位置を求め、追加したピクセルラインのどの位置に対応するかを計算する。最後に、その位置に最も近い車線境界位置の候補を TargetFrame の高さ $Y = Y_{st}$ における車線境界位置 (図4の青い丸) 推定の結果とする。

この処理を複数の高さにおいて行うことで、様々な高さでの車線境界位置が得られる。

3.2.2 車線境界位置のクラスタリング

推定された車線境界位置を示す点群を、同一車線境界上の点にまとめるためクラスタリングを行う。

まず、クラスタリングを行う際の順序について述べる。画面下部ほど実世界でカメラから車線までの距離が近い。そのため動画像上では画面下部ほど車線境界線が太く見え、時空間画像の作成時にシフト量を正確に求められる。従って時空間画像上で車線境界位置は垂直に並びやすい。この特徴により、画面下部ほど車線境界位置の推定精度が高いため、クラスタリングを行う順序は画像上の高さが低い点を優先する。また、高さが同じ場合は画面左にある点を優先する。

次にクラスタリングの方針について述べる。クラスタリングの方針は以下の通りである。推定された車線境界位置を示す点群から上述の順に点を取り出し、その時点までに取り出されたいずれかの点と車線境界を構成するかどうかを判定する。後述の車線境界を構成する条件を満たす点が存在する場合は、その点の属するクラスに分類される。但し、そのような点が複数存在する場合は、それらの点のうち画面上の距離が最も近い点の属するクラスに分類され

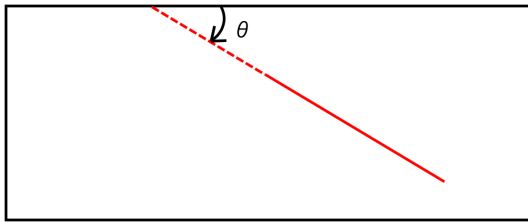


図 5: 線分の角度の定義

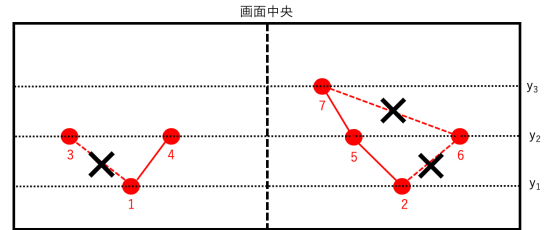


図 6: クラスタリングの例

る。車線境界を構成する条件を満たす点が存在しない場合は新たなクラスを生成し、そのクラスに分類される。

最後に車線境界を構成するとみなす条件を述べる。車線境界を構成する条件は以下のように、そのクラスに属する2点目の点となるか3点目以上の点となるかで異なる。そのクラスに属する2点目の点となる場合は、1点目の点と結んだ際にできる線分の角度 θ が車線境界として適切であること、および2点間の距離が閾値以内であることが条件となる。車線境界として適切な角度とは、1点目が画面中央より右側の場合は 90° 以下、画面中央より左側の場合は 90° 以上の角度である。但し、画面上の線分の角度 θ は図5のように画面上端となす角度を計算することで求めるものとする。

また、閾値となる距離は点同士の画像上の高さが離れていれば離れているほど大きくなる。これは車線境界線が点線によって描かれている場合などにおいて、全ての高さで車線境界位置が得られないことがあり、そのような場合に対処するためである。

3点目以上の場合は、その時点までにそのクラスに属している点群がなす角度と、判定したい点とそのクラスに属する最も近い点となす角度が閾値以内で、その点との距離が閾値以内であることが条件である。

但し、いずれの場合も同じ高さの点とは車線境界を構成しないものとする。

推定された全ての車線境界線位置のクラスタリングが終了すると、クラス内に2点以上の点を含むクラスのみを車線境界候補として選出する。この時、1点のみが属するクラスの点は車線境界位置推定の誤りとみなされる。

例として、図6のような点群が車線境界位置として推定された場合について説明する。図中の数字は各点を取り出される順番であり、またその点の名前を表すものとする。まず、点1,2が取り出された際は車線境界を構成する条件を満たす点は存在しないため、新たなクラスが生成され、点1,2はそれぞれそのクラスに属する点となる。次に、点3が取り出されるが、点1は画面左側の点であるため角度の条件を満たさない。また点2は角度の条件を満たすが距離が遠いためこれも車線境界を構成するとはみなされない。よって点3はいずれの点とも車線境界を構成しないため、新たなクラスが生成されそのクラスに属する点となる。点4は点1と角度、および距離の条件を満たすため点1と同

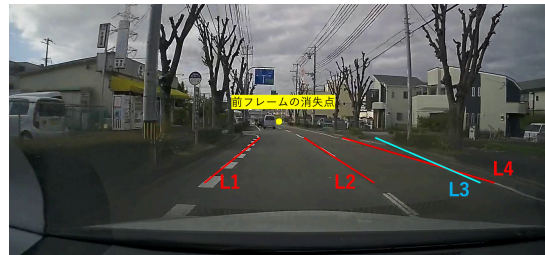


図 7: 明らかな誤検出の除去

じクラスに属すると判定される。同様に、点5は点2と同じクラスに属し、点6はいずれの点とも同じクラスには属せず、新たなクラスに属する点となる。最後に点7は点5,6の両方と角度、および距離の条件を満たすが、より距離の近い点5と同じクラスに属すると判定される。よって点1,4を含むクラス、および点2,5,7を含むクラスが車線境界候補として選出され、点3,6は車線境界位置推定の誤りとみなされる。

3.3 時系列情報を用いた車線検出

3.3.1 車線境界の誤検出除去

時系列情報を用いた車線検出は大きく分けて2段階で行われる。第一段階では選出された複数本の車線境界候補のうち、明らかに車線境界でないものを除去する。明らかに車線境界でないものとは、前フレームでの消失点との距離が遠いものである。例えば、図7では、線分L1,L2,L4は両端を延長し直線とみなした場合、前フレームの消失点の近くを通る。一方、線分L3は前フレームの消失点の近くを通らないため誤検出として除去される。

消失点は検出された車線境界の交点として求められる。但し、交点は車線境界の組み合わせにより異なるため、全ての組み合わせで計算した交点の平均とする。

3.3.2 車線境界の補完

第二段階では第一段階の結果に対し、前フレームとの比較により車線境界の補完を行う。車線境界の補完は2種類行っており、1つは検出漏れ車線境界がある場合の補完である。もう1つはフレーム単位での車線境界の候補選出が完全に失敗した場合の補完である。

検出漏れ車線境界がある場合の補完では前フレームで検出できていた車線境界が全て検出できているかを判定し、検出できていない車線境界があればそれを補完する。前フ

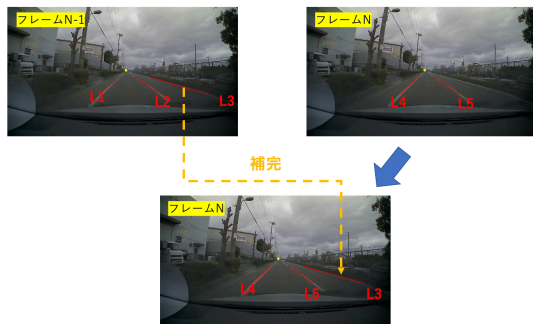


図 8: 検出漏れ車線の補完

フレームで検出できていた車線境界が全て含まれているかを判定するためには、検出された車線境界同士が同一であるかの判定を行う必要がある。この判定には車線境界の画面上での位置と角度を用いる。図 8 に車線の補完の例を示す。図 8 の左上図は補完を行いたいフレームの前フレームでの検出結果である。また、図 8 の右上図は補完を行いたいフレームでの検出結果である。そして、図 8 の下図は前フレームでの検出結果を用いて補完を行った結果である。図 8 の場合、フレーム N では車線境界線 L4, L5 がフレーム N-1 で検出された車線境界線 L1, L2 に対応しているが、L3 に対応する車線境界線は検出できていない。従って、フレーム N-1 で検出された車線境界線 L3 を用いてフレーム N の検出結果を補完する。

フレーム単位での車線境界の候補選出が完全に失敗した場合の補完では、車線境界候補が全体として車線境界を正しく検出できているかを判定する。この判定は検出漏れ車線の補完を行った後に行う。正しく検出できていると判定された場合は、ここまでの処理を行った結果をこのフレームでの車線検出結果とする。正しく検出できていないと判断された場合は、ここまでの処理を行った結果は破棄され、前フレームでの検出結果をこのフレームでの検出結果とする。

車線境界候補が全体として車線境界を正しく検出できているかの判定には 2 つの指標を用いる。1 つ目は、消失点の前フレームでの消失点からどの程度変化しているかである。一定の閾値以上に変化している場合は正しく検出できていないと判定する。この閾値を設定するため、実際の車載カメラの動画の計 880 フレーム間においてどの程度消失点の変化するかを調べた。使用した車載カメラの動画のサイズは 1920 × 1080 である。図 9 にその結果を示す。図 9 の左図はフレーム間の消失点の位置の変化の分布を示しており、図 9 の右図はフレーム間の消失点の変化がある距離以下である割合を示している。

この結果より、およそ 99 % のフレーム間において消失点の変化が 75 ピクセル以下であることがわかった。従って、消失点の前フレームと比較して 75 ピクセルより大きく変化している場合は正しく検出できていないと判定する。但

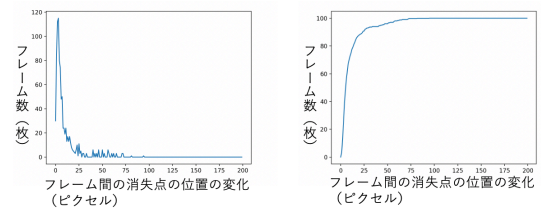


図 9: 消失点の位置の変化



図 10: 交点の距離

し、車両の走行する環境が急激に変化した場合、フレーム間の消失点の変化はこの値以上になることが予測される。従って、数フレーム連続で消失点が大きく変化するような結果が得られた場合は環境が急激に変化したと判断し、消失点が 75 ピクセル以上変化していても正しく検出できていると判定する。

2 つ目はここまでの処理で候補として残っている車線境界が作る交点同士の距離である。車線境界線が 3 本以上ある場合、その交点は図 10 の P1, P2, P3 のように複数個求めることができる。P1, P2, P3 はそれぞれ車線境界線 L1 と L2, L1 と L3, L2 と L3 の交点を表すものとする。これらの交点の距離の和を計算し、閾値以上であれば正しく検出できていないと判定する。但し、候補として残っている車線境界が 2 本以下の場合はこの判定は行わず、消失点の変化のみを指標として用いる。

4. 評価実験

4.1 評価環境

本章では、提案した車線検出手法の精度を調べるために行った実験の環境について述べる。

まず、車載カメラ ([13]) を取り付けた車両を用意した。この車両で、車線境界線が描画されている道路を走行し、車載カメラ画像の撮影を行った。

車線検出の評価に際しては、直線道路、脇道のある道路、大きくカーブしている道路、前方車両がある環境、雨が降っている環境で撮影された動画画像を使用した。直線道路以外の道路および環境では検出が難しいことが予想されるため、これらの条件下で撮影された動画画像を使用する。但し、前方車両がある環境、雨が降っている環境の撮影は直線道路にて行った。参考のため、図 11 にそれぞれの条件に

当てはまる動画像の一部をキャプチャ画像として載せる。
 また、提案手法では交差点や横断歩道は考慮していないため、これらが映る動画像は予め除去している。

4.2 提案手法の評価および考察

提案出手の評価を行うため、実際の走行時動画像に提案手法を適応した結果を、表1に示す。結果は左から順に時系列情報を使用せずにフレーム単位での車線境界候補を検出結果とした場合の検出精度、時系列情報を用いて車線検出を行った場合の検出精度、検出ミスの割合である。

表 1: 車線検出結果

条件	時系列情報不使用 [%]	時系列情報使用 [%]	検出ミス [%]
直線道路	89.74	95.97	4.03
脇道のある道路	70.99	89.30	10.70
カーブの大きい道路	26.45	90.65	9.35
前方車両あり (直線道路)	50.33	85.05	14.95
雨天時 (直線道路)	31.90	94.83	5.17

直線車線の結果をみると時系列情報を使用しなかった場合でも 89.74%と高い精度で車線を検出できている。これは検出の妨げとなる要因が少ない場合はフレーム単位の車線検出で十分であることを示す。一方で、直線道路以外では時系列情報を使用しなかった場合の検出精度は低くなっている。原因として、カーブの大きい道路では車線境界位置のクラスタリングの失敗が多いこと、雨天時では動画像が不明瞭になり、車線境界位置の推定が困難であることが挙げられる。また、脇道のある道路および前方車両ありの環境では、連続したフレームにおいて車線境界以外の場所に色の変化が生じたことによる車線境界位置推定の失敗が原因として考えられる。

次に、時系列情報を使用した場合の精度を見ると、いずれの場合も精度が大きく上がっていることがわかる。例えば、脇道のある道路では脇道の存在により車線境界が描かれていない部分が存在し、そのような部分を含むフレームが約 36%であるのに対し、検出ミスは約 11%に抑えることができています。

しかし、補完により検出に失敗したフレームが存在することも事実である。そこで補完により検出に失敗したフレームの割合と、補完により検出に成功したフレームの割合を調べた結果を表2に示す。

表 2: 時系列情報使用による効果

条件	補完による失敗 [%]	補完による成功 [%]
直線道路	0.00	6.23
脇道のある道路	1.41	19.71
カーブの大きい道路	0.65	64.85
前方車両あり (直線道路)	2.98	37.70
雨天時 (直線道路)	2.59	65.52

この結果から時系列情報を用いてクラスタリングの失敗を誤検出境界として除去し、車線の補完を行うことが、多くのフレームで車線検出の成功につながっていることがわかる。

5. まとめと今後の課題

本取組では、車載カメラの走行時動画像に対しフレーム単位での車線検出処理に加えて、時系列の変化に基づく検出処理を施すことで、複数車線を検出する手法を提案した。また、評価実験により様々な環境において車線を検出できること、フレーム単位では検出の難しいフレームにおいても車線を検出できることを示した。今後の課題として、リアルタイムに自車両の周辺状況の把握を行うために、更なる低負荷化の実現が挙げられる。また、より多くの状況において車線検出を可能にするために、手法の改良が挙げられる。

謝辞

本研究開発は NICT「データ連携・利活用による地域課題解決のための実証型研究開発」の委託を受けたものです。

参考文献

- [1] N.S.Aminuddin, M.M.Ibrahim, N.M.Ali, S.A.Radzi, W.H.M.Saad and Darsono, A. M.: A New Approach To Highway Lane Detection By Using Hough Transform Technique, *Journal of ICT*, Vol. 16, No. 2, pp. 244 – 260 (2017).
- [2] Y.He, H.Wang and B.Zhang: Color-based road detection in urban traffic scenes, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 5, pp. 309 – 318 (2004).
- [3] Yoo, J. H., Lee, S.-W., Park, S.-K. and Kim, D. H.: A Robust Lane Detection Method Based on Vanishing Point Estimation Using the Relevance of Line Segments, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 18, pp. 3254 – 3266 (2017).
- [4] C.Rasmussen: Grouping dominant orientations for ill-structured road following, *Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2004. CVPR 2004.* (2004).
- [5] H.Kong, J.Y.Audibert and Ponce, J.: General Road Detection From a Single Image, *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 19, pp. 2211 – 2220 (2010).
- [6] S.E.Grigorescu, N.Petkov and P.Kruizinga: Comparison of texture features based on Gabor filters, *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 11, No. 10, pp. 1160–1167 (2002).
- [7] Liu, G., Wörgötter, F. and Markelić, I.: Combining Statistical Hough Transform and Particle Filter for robust lane detection and tracking, *2010 IEEE Intelligent Vehicles Symposium* (2010).
- [8] Jung, S., Youn, J. and Sull, S.: Efficient Lane Detection Based on Spatiotemporal Images, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol. 17, pp. 289–295 (2016).
- [9] J.Wang, B.Kong and T.Mei, H.: Lane detection algorithm based on temporal-spatial information matching and fusion, *CAAI Transactions on Intelligence Technology*, Vol. 2, pp. 154 – 165 (2017).



図 11: 評価に使用した動画像

- [10] A.M.Muad, A.Hussain, S.A.Samad, M.M.Mustaffa and B.Y.Majlis: Implementation of inverse perspective mapping algorithm for the development of an automatic lane tracking system, *2004 IEEE Region 10 Conference TENCN 2004.*, Vol. 1, pp. 207–210 (2004).
- [11] C.Y.Kuo, Y. and S.M.Yang: On the Image Sensor Processing for Lane Detection and Control in Vehicle Lane Keeping Systems, *Sensors 2019*, Vol. 19 (2019).
- [12] Amir Rasouli, Iuliia Kotseruba and John K. Tsotsos: Understanding Pedestrian Behavior in Complex Traffic Scenes, *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, Vol. PP, No. 99, pp. 1–10 (2017).
- [13] トヨタ自動車株式会社: カメラ一体型ドライブレコーダー DRT-H66A, "¥[urlhttp://www.e-iserv.jp/top/driverecorder/drt-h66a/](http://www.e-iserv.jp/top/driverecorder/drt-h66a/)". [Online; accessed 13-February-2020].