

6

車の智能化のための 画像認識技術の現状と今後

二宮 芳樹

(株) 豊田中央研究所

画像認識技術の現状

画像認識による車の智能化は、自動運転研究と、それに続く実用化という形で進展してきた。自動運転研究は、1970年代の機械技術研究所での知能自動車に始まり、1980年代後半のミュンヘン工科大の高速道自動走行デモ、1990年代のカーネギーメロン大のアメリカ横断デモ、AHS^{☆1}プロジェクトの高速道路デモと続き、2000年以降は米国のGrand Challenge, Urban Challenge開催に至っている。実用化は、1990年代始めに日本のASVプロジェクトにおけるプロトタイプ実証実験の後、2000年前後から日本のメーカーを中心に開始された。

画像認識技術の実用化例を表-1に示す。実用化と研究の現状について以下に総括する。実用化段階は高級車の一部にはレーン(図-1(a))、車両、歩行者(図-1(b))、標識検出という画像認識技術が応用され、他のセンサでは困難なレーンや灯火検出は幅広い車種への展開フェーズにさしかかっている。しかし、適用環境など、機能は限定されており、障害物検出では電波レーダが主に使われている。一方、研究段階では、走行環境の全体理解や適用環境の拡大に向けての取り組みがされているが、信頼性や実時間性などの点でもまだ課題が多い。Urban Challengeなどの自動運転デモでは主としてライダー(LIDAR^{☆2})などのアクティブセンサが使われているのが現状である。

☆1 Automated Highway System.
☆2 Light Detection and Ranging.

Driver Assist System	Image Recognition Function
Lane Departure Warning	Lane Detection
Forward Collision Warning	Obstacle Detection
Intelligent Headlamp Control	Vehicle Detection
Night Vision	Pedestrian Detection
Speed Limiter	Traffic Sign Detection

表-1 画像認識技術の自動車での実用化例

本稿では画像認識技術の実用化の課題解決に有効なアプローチを紹介する。

画像認識技術開発の流れ

画像認識技術の開発では、認識への要求機能を定義する必要がある。高速道路環境におけるレーン検出では、要求機能は、たとえば、単眼モノクロカメラ画像から、図-2に示すレーン中央線と車両の横変位、姿勢角、レーン幅、横断曲率を出力することになる。また、それに加えて、以下のような状況への対応が要求される。

- アプリの適用範囲外（高速道路用であれば一般道やレーン非存在または非観測な状況）
- 多様なレーン形状・構造(図-1(a))
- レーンマーク劣化、照明や天候条件による見え変化

これは、非整備環境での画像認識共通の課題であり、事前の状況把握や評価のためには顔認識と同様に大規模なデータベースが必要になる。しかし、大規模データベースの構築や事前の課題や対応方法の

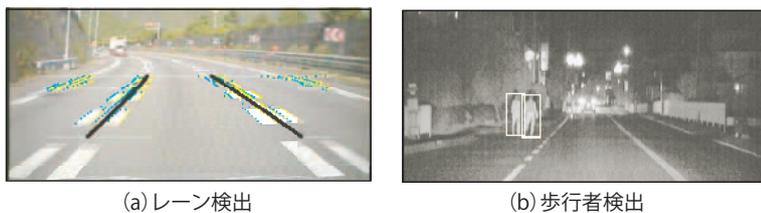


図-1 車の知能化への画像認識の応用例

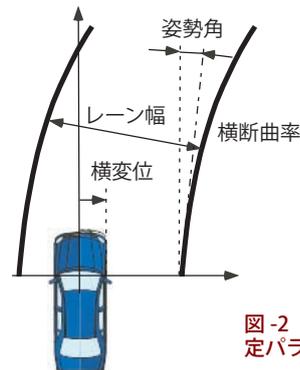


図-2 レーン検出の推定パラメータ

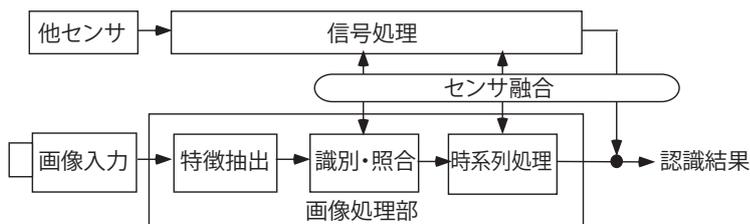


図-3 画像認識処理のブロック図

把握は容易ではなく、課題把握、対応を繰り返しながら開発を進めていくのが現状である。

画像認識処理の標準的なフローを図-3に示す。他のセンサとの融合処理を重要要素として付加している。このフローに沿って、実用化への課題解決への考え方や有効なアプローチを紹介する。

画像入力

画像入力はテレビカメラによる撮像が一般的である。入力波長、光学部、撮像部の仕様、取り付け位置・姿勢、単眼／複眼など多くの選択肢がある。また、撮像制御も重要要素となる。実用化例では、VGA^{☆3}レベルの単眼モノクロカメラの利用が多いが、標識や灯火検出のためのカラーカメラ、距離情報を得るための二眼ステレオカメラ、ナイトビジョン用途の遠赤外カメラの導入も始まっている。今後は、高解像度化、高ダイナミックレンジ化、アクティブセンサとの統合などが考えられる。

城殿らは、近赤外光領域で3波長(870nm, 970nm, 1050nm)に入力感度を持つ3バンドカメラを用いて、可視光カメラとは異なる物体識別の可能性を示した¹⁾。近赤外領域は組成の吸収特性による分光分析が行われているように、対象の材質特性

☆3 Video Graphics Array : 640 × 480 画素。

をより反映している領域であり、たとえば、人肌などは組成による水の吸収特性を示すことが知られている。図-4は、K-L変換した画像を線形判別した結果の一例で、特に人肌、植栽の葉で、可視光と異なる識別性能が示された。こうした近赤外帯域を始めとする多波長化の導入により、走行環境の物体認識の大幅な機能向上が期待される。

画像処理部

画像認識で利用される特徴は画素の輝度や色や、その空間変化、時間変化量、テクスチャなどがある。特徴の選択は、ブースティングなどの自動選択の枠組みが利用されるようになったが、特徴の考案は、依然として大きな課題である。レーン検出では、白い帯状のレーンマークらしさを表す方向性の異なるエッジ対を特徴としている例が多い。歩行者検出では局所領域におけるエッジ勾配方向のヒストグラムを表すHoG特徴^{☆4}やその共起特徴などが利用されている。

抽出特徴量に基づき識別関数を用いた物体識別やモデルとの照合によるパラメータ推定を行う。車の知能化のような実時間応用では、高速処理のための探索効率化が重要になる。走行環境の構造と透視変

☆4 Histogram of oriented Gradient.

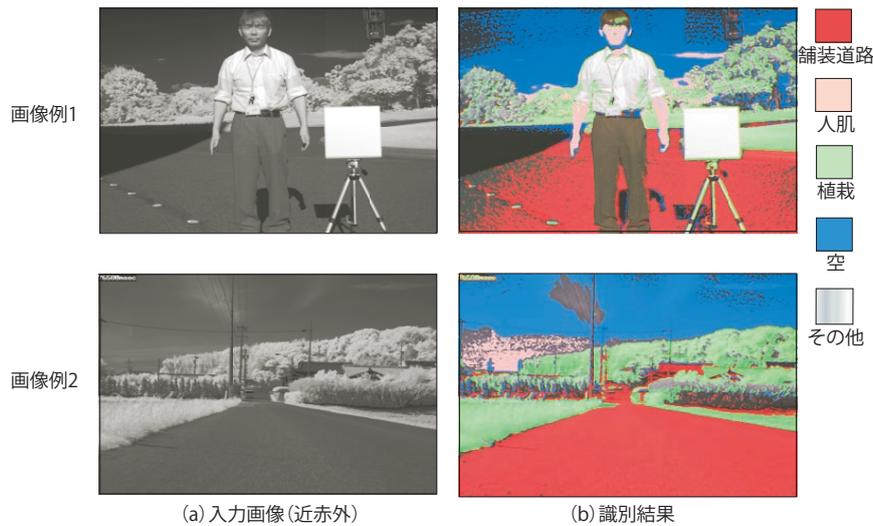


図-4 近赤外マルチバンドカメラに基づく物体識別結果例

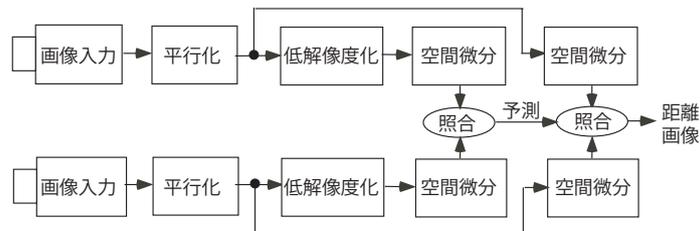


図-5 ステレオ照合処理のブロック図

換の知識に基づく探索領域の限定を始めとして多くの方法がある。有効な粗密探索の具体例を紹介する。

木村らはローカル法によるステレオ照合において、多重解像度画像を用いた粗密探索を導入した²⁾。ローカル法ではエリアベースの相関法が一般的に用いられる。相関のウィンドウサイズを 3×3 画素または 5×5 画素に固定し、画像の解像度を変化させたとき、走行環境の画像では元画像から解像度を低下させた画像(元画像がVGAの場合は $1/4$ 程度)の方がステレオ照合の正解率が高いという知見がある。また、視差の連続性の仮説は走行環境においても多くの部分で成立する。そこで、低解像度画像で高い正解率のステレオ照合結果を求めて、その結果を予測値として探索範囲を制限して、高解像度画像のステレオ照合を行う(図-5)。低解像度画像での予測値は高解像度画像の一定の画像領域に伝搬するので視差連続性の効果もある。3枚の走行環境のテスト画像で評価した結果、処理量 $1/7$ 、照合正解率

で粗密探索なしの従来法に比べて10ポイントの効果があることを示した。図-6は照合結果の距離画像例で誤照合(ランダム性の誤距離点)が削減されていることが分かる。

曾我らは、2段階の粗密探索による検出機能と処理速度を両立した歩行者検出手法(図-7)を考案し、車載ECU^{☆5}での実時間動作可能性を示した³⁾。最初に道路構造の制約により歩行者の探索領域を制限し、矩形特徴とカスケード識別器の組合せによる高速な識別器で歩行者候補を検出する(図-7(b))。次にそれらの歩行者候補から特徴量としてHoGや四方向面特徴を用い、識別器としてSVM^{☆6}を用いた高精度な識別器で歩行者候補を絞り込み、時系列処理で検証することによって最終判断を行う(図-7(c))。

走行環境の画像認識はパラメータ推定問題に帰着

☆5 Electronic Control Unit.

☆6 Support Vector Machine.

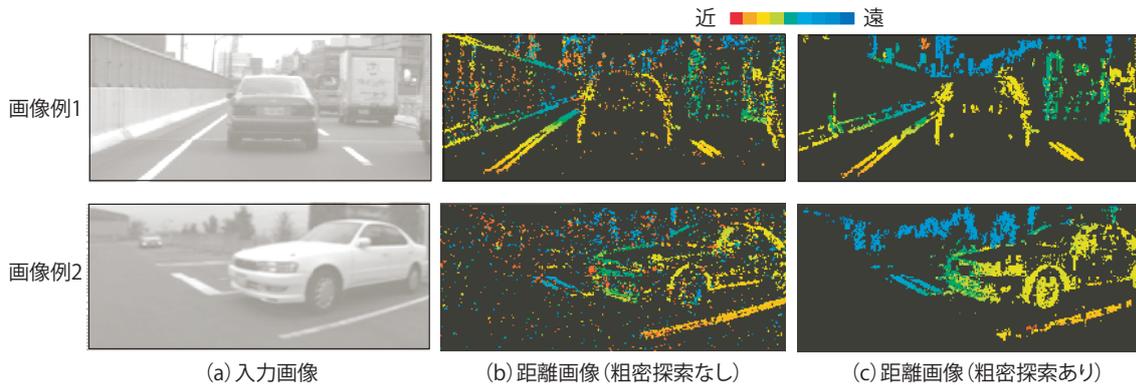


図-6 ステレオ照合結果(距離画像)例

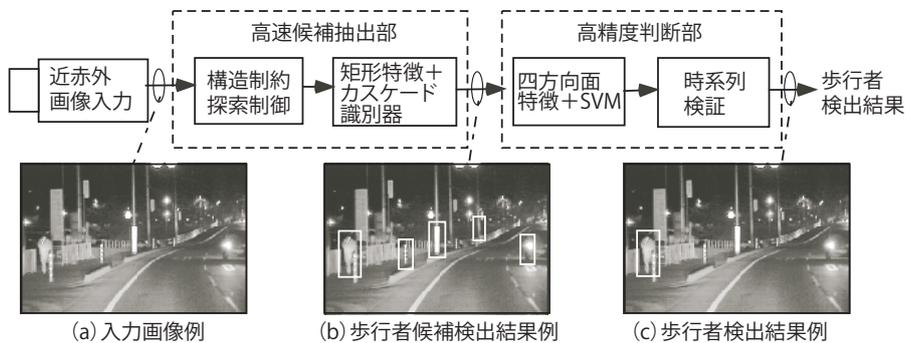


図-7 歩行者検出処理のブロック図

できるものが多く、トップダウン的な最適パラメータ探索の枠組みの導入が有効である。

高速道路環境でのレーン検出は、図-2に示すパラメータ推定問題になり、推定器としてカルマンフィルタが広く利用されてきたが、外れ値に対するロバスト性の点で、近年はパーティクルフィルタの利用も多い。筆者らは投票型のハードウェアを実装し、レーン検出のパラメータ全探索をパイプライン処理で実時間化できることを示した⁴⁾。高速道路におけるレーン検出では、パラメータの変化範囲が少ないため、区別すべきレーン形状の種類Nは数万のオーダーになる。そこでレーン形状をN個のレーン形状テンプレートとして表現し、画像上のあるレーンマークらしさを示すレーンマーク特徴が与えられたときに、その特徴点を含むレーン形状テンプレートをあらかじめ算出して投票テーブルとして記憶しておく。実際の画像からレーンマーク特徴が抽出されたとき、投票先テーブルの形状テンプレートへの投票を行い、画面全体の走査が終わった時点で投票値

の大きなレーン形状テンプレートを選択することによりレーン検出が行われる(図-8)。パラメータ全探索法での雨天の湿潤路面におけるレーン検出結果例を図-9に示す。

センサ融合

車の智能化では、画像センサ以外にも、電波レーダやライダーなどのアクティブセンサが利用され、これらを有機的に統合して機能向上を図るセンサ融合技術が重要になる。

城殿らは、ミリ波レーダとステレオ視の融合による障害物検出システムを構築し(図-10)、ステレオ視の検出結果によるミリ波レーダの注視制御、さらには信頼度推定結果に基づくセンサの統合法が効果的であることを示した⁵⁾。図-11(a)は、注視制御によりミリ波レーダを高感度化し、未検出の歩行者を検出できた例である。ステレオ視のみで検出できていた右側の歩行者に対して、レーダ側で予測に基

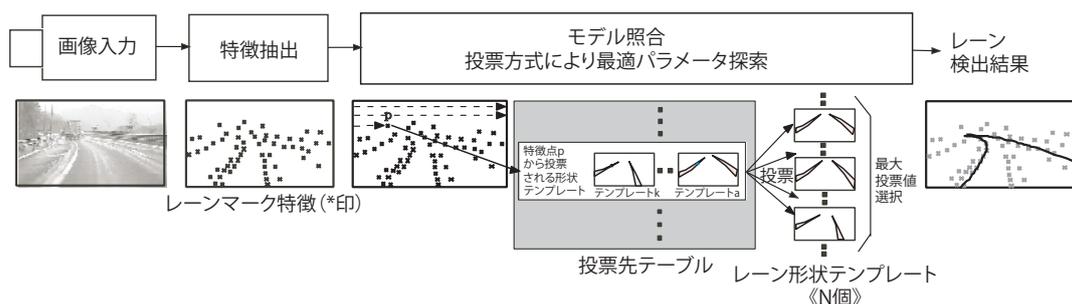


図-8 レーン検出のブロック図

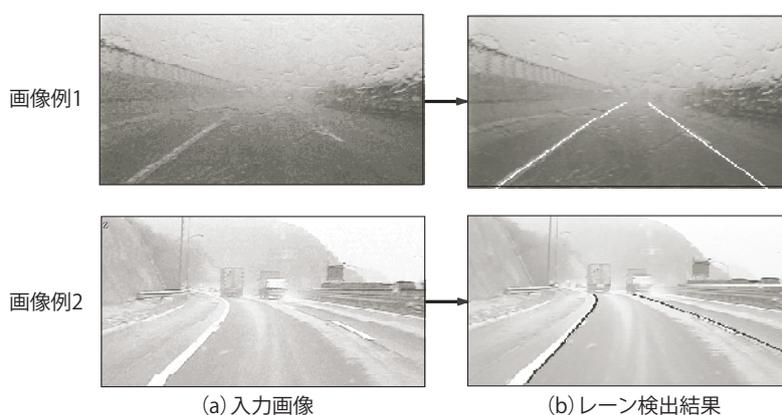


図-9 レーン検出結果例

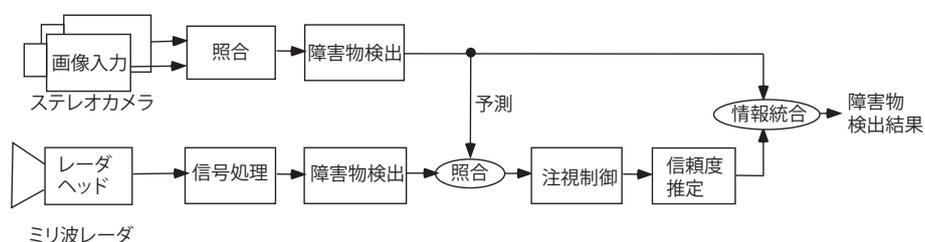


図-10 センサ融合型障害物検出処理のブロック図

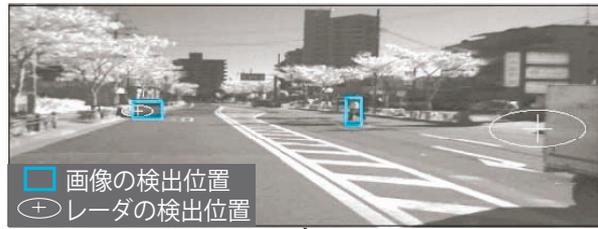
づく注視制御によって高感度化し、信頼度の高いレーダの検出結果が得られたため、両者の融合結果として歩行者検出に成功している。また、図-11(b)は、ステレオ視の誤検出をレーダによって棄却できた例である。ステレオ視で障害物と誤検出していた右型の路面のマークに対し、レーダの注視制御で得られた非存在の信頼度は高く、情報統合の結果、ステレオ視の誤検出の棄却が行えている。実際にはすべてのセンサの信頼度推定を行い、融合処理をするのが望ましいが、この例はレーダのみの信頼度推定でも効果があることを示している。また、ここでは結果の融合における信頼度の重要性を示したが、特徴レ

ベルでの融合、探索領域制御なども融合の有効なアプローチである。

画像認識技術の今後

車の智能化のための画像認識技術の課題は認識機能の実現と実時間処理の両立、多様な対象・環境条件への対応であり、その解決の有効なアプローチとして、画像入力部における近赤外マルチバンドカメラ、識別・照合における高速な探索とパラメータ最適化の枠組み、複数センサ融合における信頼度、注視制御の導入を紹介した。

画像, レーダそれぞれの検出位置



□ 画像の検出位置
⊕ レーダの検出位置

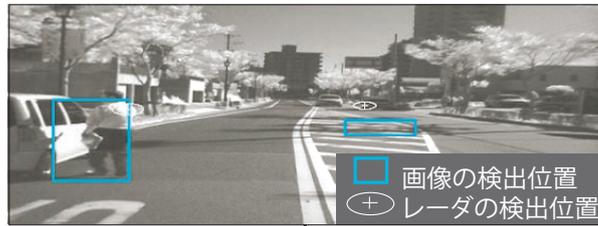
画像, レーダを統合した検出位置



✗ 棄却した検出位置
⊕ 融合の検出位置

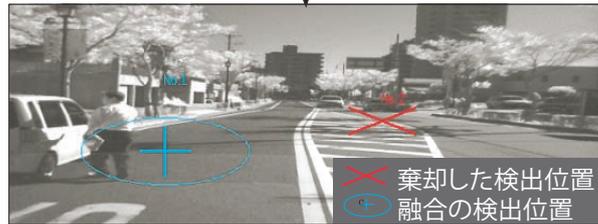
(a) 未検出解決例

画像, レーダそれぞれの検出位置



□ 画像の検出位置
⊕ レーダの検出位置

画像, レーダを統合した検出位置



✗ 棄却した検出位置
⊕ 融合の検出位置

(b) 誤検出解決例

図-11 センサ融合による検出結果例

車の知能化のための画像認識で実用化されているのは、高速道路でのレーン認識、先行車・対向車の認識、標識認識、歩行者認識であるが、現状では適用環境、機能が限定されたものである。今後はこれらの課題解決と車の知能化を市街地での運転支援や自動運転に拡張するための走行環境の全体理解や適用環境のさらなる拡大が必要になる。このための技術的アプローチとして、カメラや処理ハードウェアの進化、大量のデータベースに基づく学習手法の導入、地図などの空間データ利用などが期待されている。

参考文献

- 1) 城殿清澄, 寒沢佑介, 木村好克, 内藤貴志, 二宮芳樹: 近赤外領域のマルチバンド画像に基づく物体識別, ビジョン技術の実用ワークショップ (ViEW2009), F-5H (I-45), pp.249-253 (2009).
- 2) 木村好克, 高橋 新, 二宮芳樹: 多重解像度によるステレオ照合手法,

第6回画像センシングシンポジウム講演論文集 (SSII2000), pp.315-318 (2000).

- 3) Soga, M., Hiratsuka, S., Fukamachi, H. and Ninomiya, Y.: Pedestrian Detection for a Near Infrared Imaging System, Proc. of the 11th International Conference on Intelligent Transportation Systems, pp.1167-1172 (2008).
- 4) 二宮芳樹, 高橋 新, 太田充彦: 高速パターン照合手法を利用したレーン認識システム, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J86-D2, No.5, pp.625-632 (2003).
- 5) 城殿清澄, 高橋 新, 二宮芳樹: ミリ波レーダとステレオビジョンの融合による歩行者検知, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 SI2007, pp.653-654 (2007).

(平成 22 年 9 月 30 日受付)

二宮 芳樹 ninomiya@mosk.tytlabs.co.jp

昭和 33 年生。昭和 56 年名古屋大学大学院工学研究科電子工学専攻修士課程修了。同年 (株) 豊田中央研究所入社。現在同社安全・情報システム研究部主監。画像技術の自動車応用の研究開発に従事。博士 (工学)。平成 14 年度本会論文賞。電子情報通信学会会員。