

画像処理による走行環境認識

Vehicle Environment Recognition with Image Processing

鎌田 洋	<i>Hiroshi Kamada</i>
島 伸和	<i>Nobukazu Shima</i>
安木寿教	<i>Hisanori Yasugi</i>
上村正継	<i>Masatsugu Kamimura</i>
八木 潔	<i>Kiyoshi Yagi</i>



要 旨

乗用車に搭載したカメラより入力された画像から、高速道路上で自車前方の走行環境を認識する画像処理アルゴリズムを開発した。

この走行環境認識アルゴリズムは、自車の走行レーンを示す白線と、自車レーン内を走行している前方車両を認識することができる。白線認識においては、白線幅やレーン幅による検証ロジックを用いることで、白線の汚れや道路上の影などによらない認識を実現している。また前方車両の認識においては、画像の時系列平滑化を行うことで路側物体からの影響をなくし、エッジの投影により認識を行う。

本稿では、画像処理システムの技術動向、当社の走行環境認識アルゴリズムとその特長、検証実験などについて述べる。

Abstract

We developed a new image processing algorithm which could recognize the environment on express way using the images input by the CCD camera set on the vehicle.

The algorithm can recognize the traffic lane (white lines) where the vehicle is running and the preceding vehicle on the same lane. Verification with the white line width and the lane width for the road recognition make enable to cope with dirty lines and shadows. To recognize the preceding vehicle, the shadows on the road can be ignored by accumulating and averaging the subsequent images and the vehicle is detected by projection of edge.

This paper describes technical trend of image processing system, our new recognition algorithm and its merit, and evaluation results.

1. ま え が き

画像処理という言葉は、画像を取り扱う様々な分野で広義的に使われることが多い。CG（コンピュータ・グラフィックス）なども、この部類に含まれることがあるが本稿中の画像処理は、カメラからの画像を加工して、別の画像や認識結果を得る処理のことを示す。このような画像処理の技術は、人間の代わりに監視・検査を行う様々な視覚システムに応用されてきた。

自動車の運転は、人間（ドライバ）の視覚に頼る部分が大きく、運転中に受け取る全情報の90%以上を視覚情報が占めているといわれている。このため、将来の運転支援・予防安全システムの開発において、視覚情報を得る手段は大変重要となる。その視覚情報を得る一つの手段として画像処理が期待されている。しかし現在までのところ、実用に耐えうるほど信頼性の高い認識技術はまだ確立されていない。

本稿では、画像処理の技術動向、当社が開発した走行環境の認識アルゴリズムとその検証実験結果について述べる。

2. 技術動向

2.1 画像処理の研究

画像処理の研究は、1970年代より本格的に始まった。当初は白・黒といった2値の画像処理が主流で、ICやプリント板パターンの検査システム¹⁾などが開発された。その後、半導体技術や画像処理アルゴリズムの進歩に伴い濃淡画像処理が可能となり、魚体の方向やエラの位置を認識する装置²⁾やICの捺印の濃淡むらを検査する装置³⁾などが実用化された。このように画像処理の研究は、検査・監視など人間の視覚の代わりとなる分野に応用されてきた。

2.2 車載画像処理の研究事例

1980年代に入ると、世界的に自動運転についての研究開発が進められた。車載の画像処理装置の研究は、この自動運転における視覚情報を得る手段として位置づけられてきた。表-1に自動運転・自律走行車の研究事例を示す。これらの研究における画像処理は、汎用のワークステーションや画像処理装置を車載したものであり、さながら動く実験室といったものであった。

近年になると、機能を絞り込むことで小型・高速処理を実現した専用のハードウェアを用いた研究が進められるようになった。この専用ハードウェアを用いることで、

表-1 自動運転・自律走行車の研究事例

システム	国名	関連機関名 プロジェクト名	認識対象
NavLab ⁴⁾	アメリカ	カーネギーメロン大学 DARPA・ALV	主に前方認識 ・道路 ・障害物
VaMoRs ⁵⁾	ドイツ	ミュンヘン大学 欧州プロメテウス計画	
PVS ⁶⁾	日本	日産自動車・富士通 機械システム振興協会	

NavLab(Navigation Laboratory)

VaMaRs(Versuchsfahrzeug fur autonomo
Mobilitat und Rechneresehen)

PVS(Personal Vehicle System)

表-2 代表的な画像処理の方法

処理名	処理内容	応用例
マッチング	画像間またはパターンとの類似度を求める。	ICプリント板の パターン検査 ¹⁾
エッジ抽出	濃度値の変化量が大い輪郭線を抽出する。	魚体の上下認識 ²⁾ 白線認識
テクスチャー解析	濃度や色の性質からテクスチャーを特徴づけて解析する。	IC捺印の 濃淡むら検出 ³⁾
領域分割	画像をいくつかの領域に分割する。	医用画像処理 ⁷⁾

乗用車への搭載が可能になり、アプリケーションを含めた総合的な技術開発も行われるようになってきている。

2.3 画像認識アルゴリズムとその現状

画像中から対象物を認識するためには、認識の対象物の特徴を抽出できるような画像に変換する処理が必要となる。表-2に代表的な画像処理の手法例を示す。画像認識においては、これらの手法を組み合わせることで実現していることが多い。

車載の画像処理の場合は、特徴の抽出が重要となる。これは一般的な画像認識よりも環境や照度などが一定でなく、これらの変化にも対応しなくてはならないためである。従来の走行環境認識システムにおいても、雨上がりや夕暮れ時にも対応したものが存在するが、これらはテストコース程度の整備条件や、影が存在しないなどの特定の条件でしか認識ができなかったのが現状である。

実際の道路での使用を考えれば、複雑な影や周囲の背景の画面への映り込み、白線の汚れ・かすれなど様々な場面に、柔軟に対応できるアルゴリズムを開発する必要がある。

3. システム概要

3. 1 実験システムと仕様

当社は1台のカメラを使用した単眼視による方式を採用している。カメラは図-1に示すように、ルーフとルームミラーの間に取り付けられている。このカメラからの画像情報をもとに、その前方の走行環境の認識を行うアルゴリズムを開発した。このアルゴリズムでは以下の2つを認識対象としている。

① 自車の走行レーンを示す白線

② 自車の走行レーン内の最も近距離側の前方車両
ここで乗用車に取り付けることのできるカメラの位置と、そこからの視野、画面上での認識対象の大きさなどの関係から、白線・前方車両の認識は前方100mまでとしている。

また今回の開発においては、高速道路での走行環境の変化に対応できることを目標に置き、影や白線のかすれなどに強い認識アルゴリズムの開発を目指した。

3. 2 開発環境

図-2に認識アルゴリズムの開発環境を示す。

入力には、高速道路で収集したVTRの画像を使用し、画像処理装置とホストコンピュータでシステムを構成している。認識結果は入力画像中に書き込み、モニタに出力することができるようにしている。

3. 3 画像からの計測原理

認識した白線や前方車両の三次元的な位置や距離は、二次元の画面位置とカメラの設定パラメータから算出することができる。

必要なカメラの設定パラメータを図-3に示す。カメラの設置高さを H 、俯角を θ 、カメラの水平画角を ϕ_x 、垂直画角を ϕ_y とし、画像の x 方向の解像度を R_x 、 y 方向の解像度を R_y とする。



図-1 車載カメラ

Fig.1 Camera on the vehicle

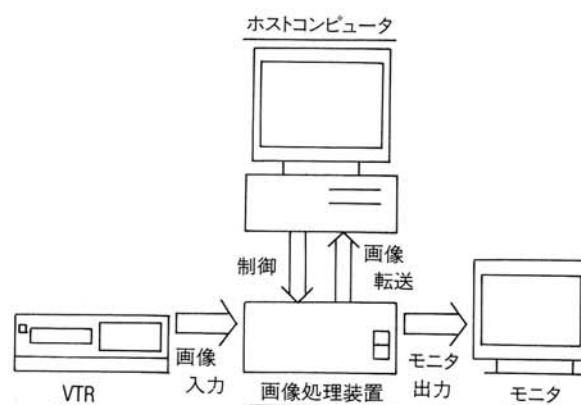


図-2 開発環境

Fig.2 Environment of development

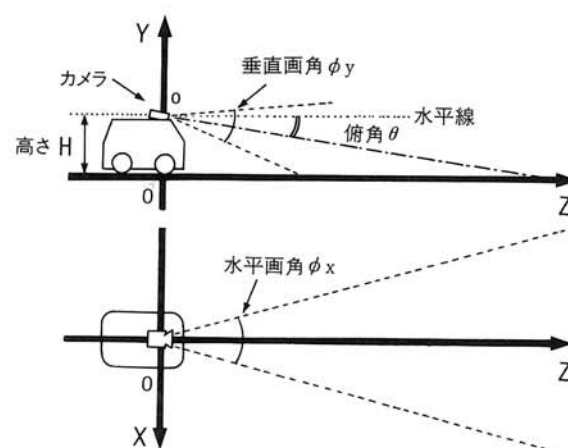


図-3 カメラの設定パラメータ

Fig.3 Parameter set for camera

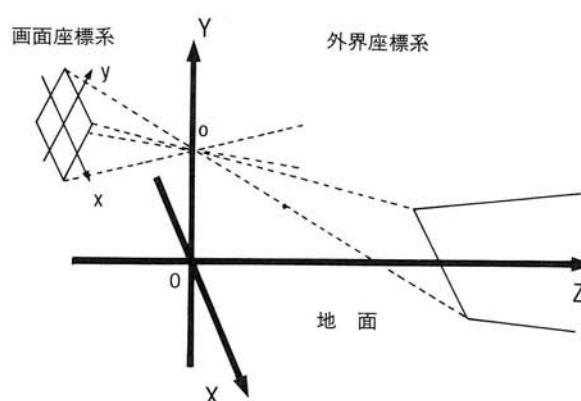


図-4 座標系の定義

Fig.4 Coordinates definition

図-4は画面座標系と実際の外界座標系の関係を示している。画面座標は撮像面上を xy 平面とし、画面の垂直方向に y 軸、水平方向に x 軸をとる。カメラの焦点位置を o とすると、 o から道路面へ下した垂線の交点を外

界座標系の原点Oとし、XZ平面を道路面とする。

このように定義すると、画面座標と実際の外界における三次元位置との関係は式(1)(2)で求められ、この外界座標(X, Z)から前方車両までの距離dは式(3)で求められる。

$$X = H \frac{\{\tan(\phi_x/2)/(R_x/2)\}x}{-\cos\theta\{\tan(\phi_y/2)/(R_y/2)\}y + \sin\theta} \quad (1)$$

$$Z = H \frac{\sin\theta\{\tan(\phi_y/2)/(R_y/2)\}y + \cos\theta}{-\cos\theta\{\tan(\phi_y/2)/(R_y/2)\}y + \sin\theta} \quad (2)$$

$$d = \sqrt{X^2 + Z^2} \quad (3)$$

4. 走行環境認識アルゴリズム

4. 1 全体構成

当社の開発した走行環境認識アルゴリズムの構成を図-5に示す。白線と前方車両の認識は基本的に並列的に処理を行う。ただし前方車両の認識処理は、自転車走行レーン内で行うため、図中の白線認識の遠距離側追跡の処理が終了し自転車走行レーンを認識してから、前方車両認識の最下部抽出の処理を行うように構成している。

4. 2 アルゴリズムの特長

4. 2. 1 エッジ抽出

画像はモノクロで入力する。この画像から認識処理を行う場合、例えば白線は、影などの影響で必ずしも「画面中の白い部分」と定義することができない。このように画面中の位置によって白線の明るさに変化がある場合には、濃淡を特徴とした認識処理を行うのは難しい。屋外などでの認識処理には、明るさの変化に強いエッジ画像を用いた認識処理が有効となる。

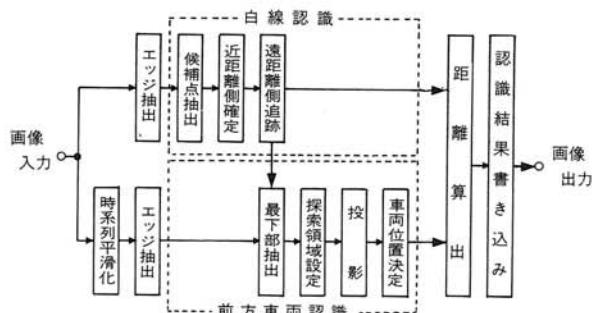


図-5 アルゴリズムの構成

Fig.5 Configuration of the algorithm

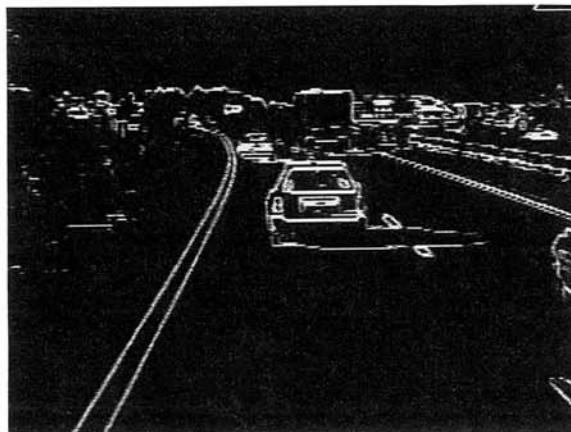


図-6 エッジ画像

Fig.6 Edge image

エッジ画像というのは、画像中の濃度値の変化量が大い部分、いわゆる輪郭線を抽出し、この輪郭線のみで構成した画像のことである。図-6にエッジ画像の例を示す。

エッジは濃度変化の方向性により、正のエッジと負のエッジが抽出できる。またエッジを抽出する方向も水平方向と垂直方向がある。一般によく用いられているエッジ画像はエッジの方向性は考慮せず、エッジの部分とエッジでない部分の2種類に分類して2値化してある。

この画像には輪郭線の情報しか含まれていないので、白線の認識において複数のエッジが現れた場合、エッジの左右どちら側が白線なのかの判別ができない。

そこで2値化は行わず、抽出方向とエッジの正負から9種類に分類した9値画像から認識を行うアルゴリズムにしている。この濃度変化の方向性の情報を利用することにより認識精度の向上を実現した。

4. 2. 2 画像の時系列平滑化⁸⁾

前方車両の認識においても、エッジを特徴として認識することが有効であるが、路側物体からの影のエッジが混在する場合、これを誤認識してしまう可能性がある。

そこで路側物体からの影の影響を少なくする手法として、画像を時間方向に平滑化する処理を開発した。具体的には時間方向に複数の画像を比較し、画面上での変化(動き)の大きい物体の映像部分をぼかすことによって、画面上での変化の少ない部分のみを抽出する処理を行う。

この処理を行うことにより、路側物体の影のように画面上を高速で移動する物体の形は、ぼけてエッジは抽出されなくなる。反面、追従している前方車両など画面上での移動が少ない物体については、変化なく出力される

のでエッジは抽出することができる。この時系列平滑化は、前方車両に追従して走行している場合に有効である。

4. 2. 3 白線認識

乗用車の車載カメラから捉えた画像では、遠方ほど路面以外の風景の占める割合が多く、白線かどうかの判断が難しくなる。そこで画面領域を近距離側と遠距離側に分割し、自転車走行レーンを決定している。

1) 候補点抽出：近距離側の画像領域で、2本のエッジの方向性と道路構造令^{注1)}に示された白線幅を満たす候補点を複数抽出する。

2) 近距離側確定：道路構造令に示されたレーン幅の条件により、白線候補点に重みづけを行い、その直線性などから白線候補点を連結し、近距離側での白線位置を確定する。

3) 遠距離側追跡：遠距離側では近距離側から白線の輪郭線に沿って、図-7のようにエッジを追跡していくことで白線を認識する。また破線の場合に対応するため、エリア飛び越しによる白線の追跡処理も行っている。

このようにエッジの方向性と白線幅やレーン幅などの知識情報を利用することで、道路の汚れや影などによる影響を極力なくし、精度の向上を実現している。

4. 2. 4 前方車両認識

前方車両の後部には、エッジが数多く集まって現れる。そこで、このエッジの分布状態を前方車両の認識特徴と

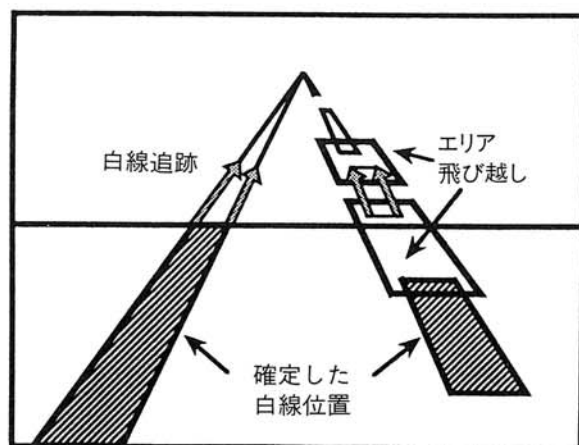


図-7 白線認識

Fig.7 Recognition of white lines

注1)道路構造令：日本における道路構造の一般的技術基準を定めた政令

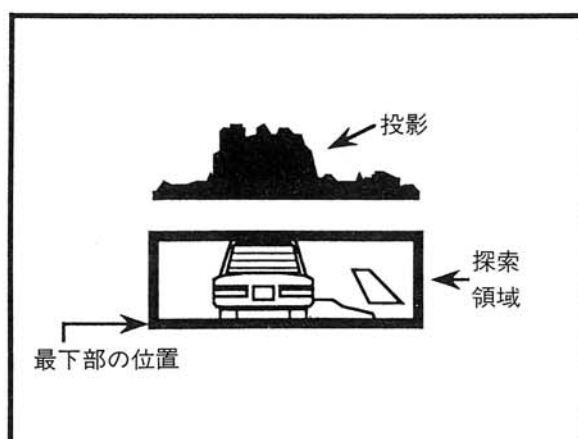


図-8 前方車両認識

Fig.8 Recognition of preceding vehicle

している。認識処理においては、「画像の時系列平滑化」を行ったエッジ画像を使用する。

1) 最下部抽出：自車の走行レーン中において、一定の長さ以上の水平方向に長いエッジが現れる位置を探索する。ここで車両以外のエッジと区別するために、水平エッジは上下に隣接して複数現れた場合にのみ、前方車両の最下部とする。

2) 探索領域設定：抽出した前方車両の最下部の位置から乗用車の高さをもつ横長の前方車両の探索領域を設定する。

3) 投影：探索領域内のエッジの投影を求める。投影とは、垂直方向の直線に沿った画素の濃度を逐次たし合わせ、その合計を求めたものである。図-8に、この投影値の分布を示す。

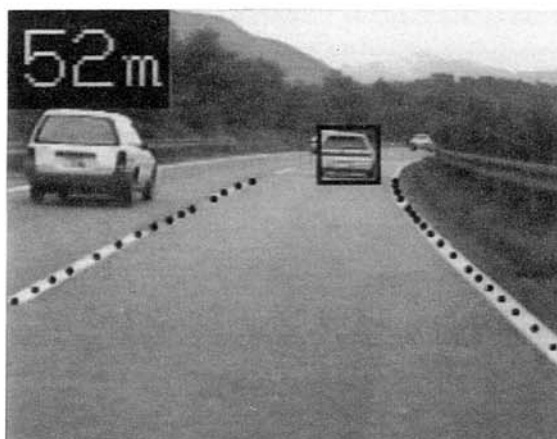
4) 車両位置決定：投影結果における乗用車の幅分の合計値が最大になる箇所を前方車両の位置と決定する。

5. 検証実験

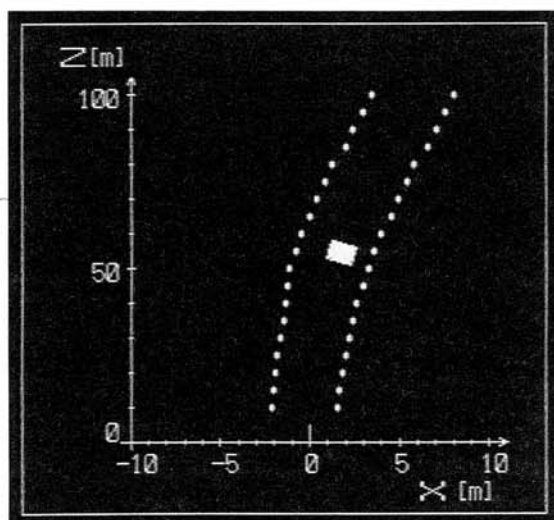
東名高速道路で収集した画像を入力として、検証実験を行った。図-9に認識結果を示す。図(a)は、前方車両の認識位置を枠で囲み、距離を画面左上に表示したものである。また白線の認識位置は、“●”で示している。破線や複数の前方車両が存在する場合においても正しく認識を行うことができています。

図(b)は、この検証実験例の白線認識結果を外界座標上へ変換した図である。“□”は前方車両の位置を示す。このように走行レーンと前方車両の実際の位置関係を認識することも可能である。

表-3に晴天で影が多く存在する100シーンについて



(a) 結果表示



(b) 外界座標変換結果

図-9 認識結果

Fig.9 Recognition Result

表-3 評価結果

	認識率[%]	処理時間[秒]
白線認識	95	0.38
前方車両認識	89	0.46

の認識率と処理時間を示す。このように高い認識率を得ることができ、高速処理を実現している。

6. 今後の課題と将来性

今回のアプローチは、アルゴリズムを高度化することで悪環境に対応しようとしたものである。

本認識アルゴリズムにより表-3のように影や照度変化がある場合にも、有効性が立証できた。また道路の汚れ、

かすれにも、かなり良い認識結果を得ることができた。今後、対応すべき課題について以下に示す。

- ・車線変更中や分岐点での走行レーン判別
- ・路面標識の判別
- ・二輪車の認識
- ・逆光時やトンネル内での対応

ただし、これらの課題はアルゴリズムの改良だけでは対応することはできない。例えば現在のカメラのダイナミックレンジは、人間の目に比べはるかに狭い。車載用としての走行環境変化に対応していくためには、カメラなどのデバイスの発展が不可欠である。

これらのカメラや処理装置などのハードウェア技術とどんな条件でも走行環境を安定して認識できるソフトウェアの双方の開発が、今後の走行環境認識用画像処理システムの実用化の鍵になると考えられる。

7. あとがき

以上、画像処理による走行環境の認識について、白線と前方車両を認識するアルゴリズムを紹介した。

今回の開発においては、高速道路での環境変化への対応と影の影響を受けにくい認識アルゴリズムを実現した。

今後はさらなる認識率向上のためのアルゴリズム改良と、ハードウェアも含めた総合的な応用システムの開発を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 後藤他: “プリント板とICマスクの検査”, テレビ誌, vol.35, No.11, pp.928~934 (1981)
- 2) 吉田他: “画像処理システム—専用型システムから汎用型システムへ”, O plus E, No.114, pp.152~165 (1989)
- 3) T. Ozaki, et al.: “Automated Inspection and Measurement”, Proc. of SPIE, Vol.730, pp.194~201 (1987)
- 4) C. E. Thore, et al.: “Vision and Navigation”, Kluwer Academic Publishers (1990)
- 5) E. D. Dickmanns: “Subject-object discrimination in 4d-dynamic scene interpretation for machine vision”, IEEE Proc. in Workshop on Visual Motion, pp.298~304 (1989)
- 6) 佐々木他: “自律走行車PVS用視覚情報処理システム”, FUJITSU, Vol.42, No.1, pp.69~77 (1991)
- 7) 田村: コンピュータ画像処理入門, 総研出版,

pp.199~203 (1991)

8) 島他: “実時間高速道路環境認識システム”, 第24回
画像工学コンファレンス論文集, pp.59~62(1993)

9) 星埜編: 道路構造令の解説と運用, 丸善出版, (1993)

筆者紹介



鎌田 洋 (カマダ ヒロシ)

1981年(株)富士通研究所入社。以来画像処理システム、コンピュータ・グラフィックスの研究に従事。現在マルチメディアシステム研究所テクノロジー研究部門メディア処理研究部在籍。



島 伸和 (シマ ノブカズ)

1991年入社。以来自動車用画像処理システムの開発に従事。現在技術開発部在籍。



安木 寿教 (ヤスギ ヒサノリ)

1985年入社。以来自動車用電子機器の開発に従事。
現在技術開発部在籍。



上村 正継 (カミムラ マサツグ)

1986年入社。以来デジタルオーディオ、画像等信号処理システムの開発に従事。現在AVC本部情報通信技術部第二マルチメディア技術課在籍。



八木 潔 (ヤギ キヨシ)

1977年入社。以来自動車用電子機器の開発に従事。
現在モータロニクス本部開発部第一開発課長。

