道路情景画像からの路面表示の抽出と認識の実験

An Experiment on Extraction and Recognition of Road Markings from a Road Scene Image

太田 寛志[†], 正会員 中谷 広正[†], 正会員 島田 恭宏^{††}, 正会員 塩野 充^{††}

Hiroshi Ohta[†], Hiromasa Nakatani[†], Yasuhiro Shimada^{††} and Mitsuru Shiono^{††}

Abstract In this paper, a method for the extraction and recognition of road markings (lines, numerals, characters, symbols, arrows, etc.) from a road scene image is proposed. At first, the input image is segmented to regions using outlines. After considering the conditions of the road structure, those regions are partially rejoined, and then the road region can be extracted. After the road region is transformed into a plane image by perspective transformation, the road markings can be extracted. Using projection profile pattern matching between the extracted road markings and the standard patterns is practiced and the road markings are recognized. As the experimental result, practical recognition performance can be obtained.

キーワード：道路情景画像，路面表示，領域分割，消失点，投影変換，パターンマッチング

1. ま え が き

自律走行車の自動操縦制御や，安全性，快適性を目的とした各種の警報やアドバイスを運転者に与える装置の研究などが近年盛んに行われ，自動車の知能化が進んでいる^{1)~3)}．人が自動車を運転する際に必要となる情報は道路上に設置された交通管理施設によって与えられ，人の視覚を通して得るものである．そのため，既存する多くの交通管理施設から機械的に情報を得るためには，人の視覚に代わる道路情景画像の解析処理が必要となる．交通管理施設の主要なものとして，道路標識と路面表示とがある．道路標識は，各種の案内，警戒，規制，指示の情報を示すものであり，遠方からもその内容を明瞭に認識できるよう設置されている．また路面表示は，交通を整理，誘導，規制，警告するためのものであり，路面上に線，記号，文字などを用いて描かれている¹⁴⁾¹⁵⁾．

道路標識は多くの案内情報や制限情報を提供しており，これらを道路情景画像から抽出し認識する手法が報告されている^{4)~6)}．一方，路面表示が提供する情報には，白線による走行可能範囲，記号・数字などによる進行方向指示・

制限速度などが存在し，車線ごとに異なっている場合がある．そのため，道路標識は走行車全体に対する大局的な情報を示しているのに対して，路面表示はその車線上の車両を対象とした局所的な情報を示しているといえる．本論文ではこのような路面表示に着目し，これを道路情景画像より抽出し認識する手法を提案する^{10)~12)}．路面表示を抽出するためには，まず道路領域の範囲を検出する必要がある．従来の道路領域の位置決定には，抽出が比較的容易な道路脇の白線が利用されている^{7)~9)}．しかし，一般の舗装道路には白線が存在しないものも多い．本手法では，そのような一般的な道路においても道路領域の抽出を可能にし，その上で，白線を路面表示の一種として抽出している．

路面表示の認識過程を図1に示す．まず，撮影された道路情景画像の領域分割を行い，その分割された領域で道路と考えられる複数の領域のみを再結合し道路領域を得る．抽出された道路領域に対して直線検出を行い道路形状を得た後，投影変換を用いて3次元的な道路領域の画像を2次元平面へ投影する．その画像から路面表示を抽出しパターンマッチングにより個々の路面表示の認識を行う．

2. 画像入力と前処理

道路情景を撮影し，RGB各々256階調でコンピュータに取り込む．前処理として，入力された画像に(1)式を用いてRGB系から YC_1C_2 系（輝度信号 Y ，色差信号 C_1, C_2 ）に変換する．輝度 Y を(2)式による線形変換を行い，新たな輝度 Y' を得た後，(3)式を用いて再びRGB系に変換する．これにより屋外で道路情景を撮影する際に生じる日照

1995年12月，電子情報通信学会PRU研究会で発表

1997年3月10日受付，1998年1月22日最終受付，1998年3月4日採録

[†]静岡大学 大学院 理工学研究科

(〒432-8011 浜松市城北3-5-1, TEL 053-478-1482)

^{††}岡山理科大学 工学部 情報工学科

(〒700-8530 岡山市 理大町 1-1, TEL 086-252-3161)

[†]Graduate School of Science and Engineering, Shizuoka University
(Johoku 3-5-1, Hamamatsu 432-8011, Japan)

^{††}Faculty of Engineering, Okayama University of Science
(Ridai-cho 1-1, Okayama 700-8530, Japan)

図 1 処理の流れ
General flowchart of the proposed system.

条件の問題が画像に影響せず、一様な画像を得ることが可能となる。

$$\left. \begin{aligned} Y &= 0.30R + 0.59G + 0.11B \\ C_1 &= R - Y \\ C_2 &= B - Y \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$Y' = 255(Y - Y_{\min}) / (Y_{\max} - Y_{\min}) \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} R &= Y' + C_1 \\ G &= Y' - \frac{0.30}{0.59}C_1 - \frac{0.11}{0.59}C_2 \\ B &= Y' + C_2 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

3. 道路情景画像の領域分割

道路情景画像をその画像内の輝度差を用いて領域分割する。まず微分処理により輪郭線を抽出し、その輪郭線を境界としたラベリングを行うことによって、領域分割ができる。あらかじめ輪郭線を抽出しておき、それに沿った領域分割を行うことで画像内でなだらかに濃度が変化していく部分においても正しく唯一の領域の境界を決定することが可能となる。

3.1 輪郭線抽出

画像を白黒濃淡画像に変換した後、微分処理を行い輪郭線の抽出を行う。このとき輪郭線は、線幅が 1 画素であり、また輪郭線の連結を保持していなくてはならない。処理を以下に記す。

- (1) 画像に Sobel フィルタを掛け微分画像を得る。このとき、小さな濃度値を持つ画素は除去する。
- (2) 周囲に比べて濃度値の高い微分画像の頂点部分・尾根部分を抽出する。得られた微分画像において、任意の画素 x_0 とそれに隣接する画素 x_k, x_{k+4} の濃度を比較し

$$x_k < x_0 \text{ and } x_{k+4} < x_0 \quad (4)$$

(ただし、画素並びは 3×3 の中央が x_0 、その右隣

が x_1 、以下反時計回りに $x_2, x_3, \dots, x_8$ とする) が成り立つ $k(1 \leq k \leq 4)$ が存在するならば画素 x_0 の値を 1 とし、成り立たなければ画素 x_0 の値を 0 とする。

- (3) 輪郭線幅を 1 画素にするために細線化処理を行う。このとき端点を保持する必要がないため、次のような簡略化手法で処理する。注目画素の周りにおける連結数

$$N = \sum_{k=0}^3 (\bar{x}_{2k+1} - \bar{x}_{2k+1} \bar{x}_{2k+2} \bar{x}_{2k+3}) \quad (5)$$

$$\bar{x} = \begin{cases} 1 & (x = 0) \\ 0 & (x \neq 0) \end{cases}$$

を調べ、 $N \leq 1$ ならば画素 x_0 を 0 とし除去する。

3.2 ラベリング

得られた輪郭線を領域の境界線と考え、2 値画像のラベリングを行うことで画像を小領域に分割できる。このとき、個々の領域にて全画素数、平均輝度値、周囲の領域との隣接関係を調べる。これらの情報をもとにして次に道路領域の再結合を行う。

4. 再結合による道路領域の抽出

道路の持つ特徴から領域の結合条件を定め、それに従って分割された領域を結合し、道路領域を形成していく。これにより道路情景画像から道路領域のみを抽出する。このとき画像内に、車道と歩道の境、あるいは道路脇の塀、白線のような道路の明確な境界が存在していなければならない。もし、道路面を撮影するカメラの直前に先行車などが存在すると路面表示のみならず道路領域も検出できない。そのため本手法では、先行車との車間距離を充分にあけて走行していることを前提条件としている。

路面表示と路面表示を除いた道路領域との 2 種類についてそれぞれ以下のような結合条件を設ける。

(路面表示以外の道路領域)

- (1) 道路領域はほぼ一様な色で画像内に大きく広がっているため、最大面積の領域を道路領域とする。ただし画像の最上部に接し、かつ最下部に接していない場合は空の領域である可能性があるため除外する。
- (2) すでに確定された路面表示に接し、最大面積で決定した道路領域とほぼ同じ輝度値の領域を道路領域とする。
- (3) すでに確定された道路領域と路面表示のみに周囲を囲まれている領域を道路領域とする。
- (4) 微小な大きさの領域は周囲を道路領域に囲まれていない限り除外する。

(路面表示)

- (1) すでに確定された道路領域に接し、比較的輝度の高い値の領域を路面表示とする。
- (2) 微小な大きさの領域は周囲を道路領域に囲まれていない限り除外する。

図 2 消失点と抽出領域
Vanishing point and extracting region.

5. 投影変換

抽出された道路領域は 3 次元的な奥行きのある画像であるため、投影変換を行い、道路面に対して垂直方向から見下ろしたような平面的な画像に変換する。これにより路面表示が視点から遠くに離れるほど小さくなるという歪みを解消することができる。

まず道路の延長方向に一致した直線を検出し、それをもとに道路領域を台形の形に切り出してから正方形の形に投影変換する。

5.1 消失点の検出

道路の延長方向と一致する直線のみを検出するために、まず下記の順序により道路領域の消失点を検出する。この消失点を通る直線のみが道路延長方向と一致する直線となる。

- (1) 道路領域部分のみの輪郭画像に Hough変換を行い直線を検出する。
- (2) Hough変換の際に使用したパラメータ平面の投票値を用いて 2 直線の交点の得点をその 2 直線が持つ投票値の合計として計算する。ただし次の条件 (a), (b) を満たす 2 直線のみについて調べる。
 - (a) 路面表示の区画線には水平線が多く、これを誤って道路延長方向の直線として検出されやすい。そのため、水平線に近い角度の直線は除く。
 - (b) 2 直線のなす角度はある程度の大きさを持つとする。
- (3) すべての交点に対して得点を得た後、最大の得点を持つ交点を検出しそれを消失点とする。

5.2 道路領域の切り出し

消失点を通るすべての直線を検出し、それら直線群の中で、直線の傾きの角度が 0° に最も近いものを道路領域の左端を示す直線とし、また直線の傾きの角度が 180° に最も近いものを道路領域の右端を示す直線とみなす。図 2 に示すように、この 2 つの直線で囲まれた領域を台形の形で切り出す。切り出す道路領域の範囲を消失点まで含めると道路が無限長になるため、実際には消失点の位置から画像の下側に $1/8$ と、画像の下側から $1/4$ とを取り除いた範囲を切り出す。

図 3 正方形から四辺形への投影変換
Perspective transformation from a square to quadrangle.

5.3 投影変換

切り出された道路領域画像内の路面表示は、道路の遠方ほど小さく、また道路の延長方向に傾くという歪みがあるため、その形状のままでは路面表示の認識が困難である。このような歪みを解消するには、道路面に対して垂直方向から見下ろしたような画像に変換する必要がある。ここで、正方形 $ABCD$ から任意の四辺形 $A'B'C'D'$ への投影変換¹³⁾を考える。この変換は 4 頂点 A', B', C', D' の 2 次元座標を用いて、図 3 のような 3 次元的な歪みのある変換が行える。そこで、この投影の逆変換を前述の処理で切り出された台形の道路領域に対し用いることによって、3 次元的な奥行きのある道路画像を 2 次元的な平面に変換することが可能である。

この投影変換を用いることで、撮影時のカメラの焦点距離・俯角などの画像以外から得る情報が必要とされない。ただし、正確な道路の長さなどが不明になるが、本手法では抽出された路面表示の形状のみで認識を行うため、この投影変換は有効である。

6. 路面表示の抽出と認識

路面表示は周囲の道路領域に比べて輝度が高いため、投影変換された画像を白黒濃淡画像に変換し、適切な閾値で 2 値化処理をすることで路面表示の抽出ができる。

抽出された路面表示と辞書パターンとのマッチングにより路面表示の認識を行う。このとき、マッチングには路面表示（以後、単にパターンと呼ぶ）の周辺分布を用い、そのデータを単純類似度法に適用し類似度を計算する。

まずパターンを 64×64 画素の大きさに正規化する。パターンの特徴をより明確に得るために以下のような拡張された周辺分布を用い、類似度を計算する。

- (1) まずパターンを図 4 に示すように A, B, C, D の 4 つの領域に分割する。
- (2) パターン上部の AB とパターン下部の CD においては、 y 軸方向に周辺分布をとる ((6)式)。パターン左側の DA とパターン右側の BC においては、 x 軸方向に周辺分布をとる ((7)式)。

$$\left. \begin{aligned} p_{AB}(x) &= \sum_{y=1}^{32} d(x, y) \\ p_{CD}(x) &= \sum_{y=33}^{64} d(x, y) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

図 4 周辺分布を取る範囲
Area for computing histogram.

$$\left. \begin{aligned} p_{DA}(y) &= \sum_{x=1}^{32} d(x,y) \\ p_{BC}(y) &= \sum_{x=33}^{64} d(x,y) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

(3) そのデータを 256 次元 (64×4) のベクトル f に置き換え ((8)式), 標準パターン g との単純類似度 s ((9)式) を求める.

$$f = \{\{p_{AB}\}, \{p_{CD}\}, \{p_{DA}\}, \{p_{BC}\}\} \quad (8)$$

$$s = \frac{f \cdot g}{\|f\| \|g\|} \quad (9)$$

この手法により通常の x 軸方向, y 軸方向の 2 つで得られる周辺分布よりパターンの特徴を多く反映することができる. また路面表示に使われている文字, 数字, 記号は比較的簡単な図柄であるため, このような手法で認識可能である.

7. 認 識 実 験

以上の方法を用いて路面表示の認識実験を行った. 道路情景の撮影にはビデオカメラを用い, 車両で走行しながら車中から道路面を撮影した. 撮影は日中に行い, 道路は急な坂のない平坦な舗装道路ある. 画像処理の計算には SunSPARCstation10 を用いた.

7.1 路面表示の認識率の計算

複数枚の道路情景画像に路面表示の抽出, 認識処理を行い, その結果から道路領域の抽出率, 路面表示の認識率を計算する.

得られたビデオ画像から路面表示のあるシーンを取り出して 50 枚の道路情景画像を作成する. 全画像に路面表示の抽出, 認識処理を行い, その結果から道路領域の抽出率, 路面表示の認識率を得る. 道路領域の抽出率は, 道路領域の境界線が目視と一致したものを原画像から正しく抽出した割合である. 路面表示の認識率は, 全画像中に含まれている路面表示のうちパターンマッチングによって正しく認識された割合である.

実験結果より得られた前述の抽出率, 認識率を表 1 に示す. 実験に用いた画像の例とその処理結果を図 5 に示す. 図 5 の認識した路面表示の画像は, 路面表示として認識した物体をその辞書パターンに置き換えて表している. また表 2 に平均処理時間を示す.

表 1 道路領域の抽出率と路面表示の認識率
Rates of extracting road region and recognizing road markings.

	処理対象数	成功数	成功率 (%)
道路領域の抽出	50	42	84.0
路面表示の認識	78	70	89.7

表 2 処理時間
Processing time.

	時間 (s)
前 処 理	4.8
道路領域の抽出	3.5
投 影 変 換	4.5
路面表示の抽出	3.2
路面表示の認識	9.9
合 計	25.9

道路領域の抽出処理において全画像 50 枚の中で, 直線抽出を行った結果, 道路領域端となる直線を検出できなかった画像が 4 枚, 直線を検出しているが, 道路延長方向と一致しない直線を検出し道路領域を誤った画像が 2 枚, 道路延長方向と一致はしているがガードレール等のような道路端ではない直線を検出した画像が 2 枚存在した. その例を図 6 に示す. (a) は道路の境界が不鮮明で直線成分が検出できなかった例, (b) は誤った位置に直線を検出してしまった例である. このように画像内全体に道路領域が存在し, かつ明確な区画線が存在しない道路情景は, 本手法では道路の切り出し領域を決定することができないため, 認識不可能である. このような画像が単体では, 正確な道路領域の切り出しは不可能であるが, 時間連続した画像が得られていれば, 前後する画像同士で切り出し領域の比較を行い, その領域が明らかに異なっていればその結果を破棄し, 検出し直すことができる.

路面表示の認識率は 89.7% が得られた. 認識に失敗する主な原因は, 投影変換後の画像において, 遠方にある路面表示にばけが著しく, 特徴が不鮮明になっていることである. そのため路面表示の種類を特定することはできないが, 存在を確認することはできる. 一方, 車両付近に近付いて来た路面表示はすべて認識できているため, 本手法で提案した周辺分布によるパターンマッチングは有効である.

7.2 連続画像における認識実験

本手法は静止画を対象にした処理を行っているが, 実際には車両走行中に画像を収集しリアルタイムに認識すべきである. そこで, 本手法を動画画像に適用した際の有効性を調べるため, 時間連続した画像を用い路面表示の抽出処理を行う.

時速約 50km の一定速度で走行しながら道路情景を撮影する. 得られた動画画像を, $1/6$ 秒ごとに時間連続した 15 枚の画像に分解し, 全画像に対し道路領域の抽出処理, 路面表示の抽出処理を行う.

時間連続した画像を図 7 に示す. これは遠方から「40」の数字の路面表示に近付いていく様子を撮影したものであ

図 5 路面表示の認識結果
Results of recognizing road markings.

る。画像内に切り出す道路領域を示している。投影変換し、路面表示の抽出を行った画像を図 8 に示す。

図 8 の画像において、常に「40」の文字が同じ大きさに揃い、かつ一定の間隔で移動していることから、3 次元空間を写した画像が投影変換によって正しく 2 次元に変換されていることがわかる。図 8 (a) ~ (e) のような遠方にある状態においては、路面表示の種類は認識できないが、存在を確認することは可能である。

「40」の数字の路面表示が図 8 の画像 (a) (b) 間では逆方向に、画像 (h) (i) 間では移動差が比較的大きくなっている。これは走行中に起こる自動車の振動によりカメラと道路面とのなす角度がわずかであるが変化したため、切り出す道路領域がずれ、抽出される路面表示の位置に誤差が生じたためである。

本手法の現段階では、静止画に対しての処理を提案しているため、この実験においては動画を 1 枚 1 枚の画像に分解し互いに独立して処理を行っている。動画像に応用するためには、認識処理過程において取得した情報が次の時点における処理にて有効利用できなければならない。その

図 6 道路領域抽出の失敗例
Failure of extracting road region.

点から本手法では、消失点の位置、道路の左右の境界線の角度が利用できる。また、これらを利用することにより道路領域の決定がより速やかに行え、処理速度の向上が可能となる。さらに路面表示の抽出結果において、その時間差分をとり移動量を調べることで、抽出された物体が路面表示かあるいは先行車などの移動物体かを判別することができる。

図 7 時間連続した画像
Time-sequence images.

図 8 路面表示の移動
Movements of road markings.

8. む す び

本論文では、道路情景画像中からの道路領域の決定法、およびその道路領域に存在する路面表示の抽出と認識手法について述べ、路面表示の抽出実験結果を示した。

本手法では、3次元空間の道路面を2次元平面へ変換するのに任意の四辺形から正方形への限定された投影変換を用いている。そのため道路情景の撮影の際の焦点距離・俯角などパラメータを必要とせず、画像から得られる情報のみで投影することが可能である。また、道路領域を決定するために、画像の領域分割を行った後、道路の特徴から定められた結合条件によって再結合し道路領域を得ている。そのため、道路情景中に明確な白線がない場合においても正しく道路領域を画像中から切り出すことができる。

路面表示には「40」や「止まれ」等のように隣接する文字が限定されている場合がある。そのため個々の路面表示の認識に、互いの位置関係を用いることができる。また、時間連続した処理を行い路面表示の動きの追跡をする必要がある。今後これらを改善することで、より精度の高い路面表示の認識を目指す。

【文 献】

- 1) 小沢慎治, 全 炳東: “自律走行への視覚応用”, 信学誌, **74**, 4, pp.403-408 (1991)
- 2) 農宗千典: “自動車における画像処理”, テレビ誌, **46**, 8, pp.978-984 (1992)
- 3) 高橋 宏, 下村倫子: “運転支援のための画像処理”, 映情誌, **51**, 6, pp.746-750 (1997)
- 4) 荻木 登, 三木成彦: “道路情景中の最高速度標識の検出および認識”, 信学論 (D-II), **J77-D-II**, 7, pp.1393-1394 (1994)
- 5) 日比哲也, 鎌田正樹, 野田健一: “カラー自然画像からの交通標識領域の抽出法”, 信学'94 秋大, D-288 (1994)
- 6) 中村雅司, 岩松英樹, 神保孝志, 梅野正義: “車載用視覚補助システムの研究”, 信学技報, **PRMU97-36**, pp.89-94 (1997)
- 7) 全 炳東, 桜井克巳, 小林哲也, 小沢慎治: “車両から見た道路像の解析”, 信学論, **J71-D**, 9, pp.1709-1717 (1988)
- 8) 農宗千典, 小沢慎治: “高速道路走行画像からの実時間レーンマーカ検出”, 信学論, **J74-D-II**, 5, pp.662-666 (1991)
- 9) 伊東敏夫, 山田憲一: “走行環境認識のための画像処理手法の検討”, 信学技報, **PRMU97-25**, pp.1-8 (1997)
- 10) 太田寛志, 塩野 充: “道路情景画像からの路面表示の抽出と認識”, '95 電気・情報関連学会中国支部連合大会, p.374 (1995)
- 11) 太田寛志, 塩野 充: “道路情景画像からの路面表示の抽出と認識の実験”, 信学技報, **PRU95-188**, pp.79-86 (1995)
- 12) 太田寛志, 塩野 充: “道路情景画像からの路面表示の抽出と認識について”, 信学'96 春大, D-618 (1996)
- 13) G.Wolberg: “Digital Image Warping”, IEEE Computer Society Press, pp.52-56 (1994)
- 14) 社団法人日本道路協会 (編): “第2版道路用語辞典”, 丸善株式会社 (1985)
- 15) 森 満雄: “新版道路工学”, 理工図書株式会社 (1994)

おおた ひろし
太田 寛志 1994年, 岡山理科大学工学部電子工学科卒業。1996年, 同大学院工学研究科修士課程修了。同年, 静岡大学大学院理工学研究科システム科学専攻博士課程入学。現在に至る。硬貨の画像認識, 道路面交通標識の認識等の研究を経て, 現在は顔画像の研究に従事。

なかた ひろまさ
中谷 広正 1974年, 大阪大学基礎工学部情報工学科卒業。1976年, 同大学院修士課程修了。同年, 静岡大学工学部情報工学科助手。現在, 同大学情報学部情報科学科教授。画像処理, マンマシンインタフェースの研究に従事。工学博士。正会員。

しまだ やすひろ
島田 恭宏 1986年, 岡山理科大学理学部電子理学科卒業。1988年, 同大学院理工学研究科修士課程修了。1991年, 同大学院理工学研究科博士課程修了。同年, 岡山理科大学工学部助手, 1997年同講師, 現在に至る。印刷文字認識, 自動点字翻訳, 画像処理, 手書き漢字認識等の研究に従事。理学博士。正会員。

しおの みつる
塩野 充 1972年, 大阪大学工学部通信工学科卒業。1981年, 同大学院博士後期課程修了。1982年, 岡山理科大学講師。1984年, 同助教授。1988年同教授となり, 現在に至る。パターン認識, 画像処理, コンピュータグラフィックス, 人工知能応用等の研究に従事。工学博士。正会員。