

# 道路情景画像からの路面表示の抽出と認識

太田 寛志\*・島田 恭宏・塩野 充

岡山理科大学工学部情報工学科

\*静岡大学大学院理工学研究科博士課程

(1996年10月7日 受理)

## 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<sup>1,2)</sup>。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などによって与えられ、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、人の視覚に成り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に設置されている。一方、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<sup>3,4)</sup>。

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多数報告されている<sup>5,6,7)</sup>。本研究では走行領域や進行方向、制限速度などを示す路面表示に着目し、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<sup>8,9)</sup>。路面表示が持つ特徴としては、

- 走行可能領域や進行方向指示など、走行している車線に限定された情報を与えている。
- 走行中に道路領域を追従していくことで新たに出現する路面表示を抽出しやすい。

などが挙げられる。

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思わ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(図1)。

## 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、まず

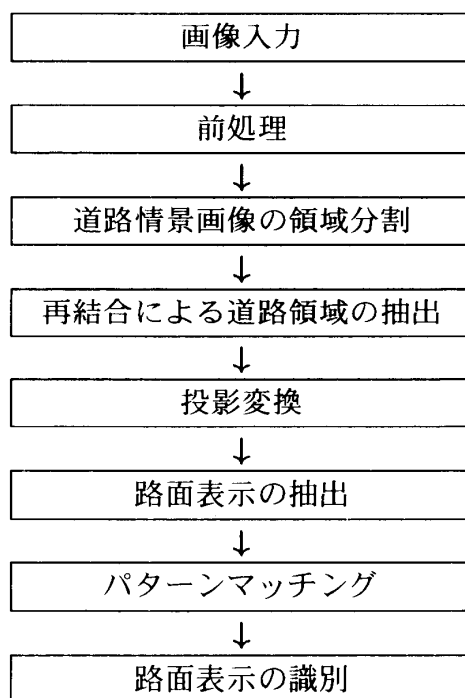


図1 本方式のジェネラルフロー

入力された画像にメディアンフィルタを掛け平滑化を行う。次に、式(1)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  $Y$  を式(2)による線形変換を行い，新たな輝度  $Y'$  を得た後，式(3)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。

$$Y = 0.30R + 0.59G + 0.11B$$

$$C_1 = R - Y \quad (1)$$

$$C_2 = B - Y$$

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

$$R = Y' + C_1$$

$$G = Y' - (0.30/0.59)C_1 - (0.11/0.59)C_2 \quad (3)$$

$$B = Y' + C_2$$

### 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濃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，画像内でただろかに濃度に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はならない。処理を以下に記す。

(1)注目画素  $x_0$  とそれに隣接する画素  $x_k, x_{k+4}$  の濃度を比較し、

$$x_k \leq x_0 \quad \text{and} \quad x_{k+4} \leq x_0 \quad (1 \leq k \leq 4) \quad (4)$$

(ただし、画素並びは  $3 \times 3$  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。これを画素内の全画素について行う。これにより輪郭線の連結を保持したまま、周囲に比べて濃度値の高い画素の抽出ができる。

(2)輪郭線幅を1にするため細線化処理を行う。(1)の処理ですでに輪郭線幅は最大2画素であり、また端点を保持する心要がないため、次のような簡略化した手法で行う。注目画素の周りにおける横井の連結数<sup>10,P.54)</sup>

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

を調べ、 $N \leq 1$ ならば画素  $x_0$  を0とし除去する。これを画像内全画素について行う。

### 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、平均濃度値、周囲の領域との隣接関係を調べる。

### 3.3 膨張処理

ラベリング後の画像には輪郭線が残っているため、この部分のラベル情報が欠落している。そのため膨張処理を施し輪郭線を消去する。輪郭線幅は1画素となっているので1回の膨張処理のみで消去できる。

## 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、それに従い分割された領域を結合し道路領域を形成していくことにより、道路情景画像から道路領域のみを抽出する。

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>

- 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。

- 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濃度値の領域を道路領域とする。
- 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。
- 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>

- すでに確定された道路領域に接し、比較的輝度の高い濃度値の領域を路面表示とする。
- 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。

## 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ハフ変換を行い直線を検出する。

(2)ハフ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。ただし次の条件を満たす2直線のみについて調べる。

- 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、水平線に近いもの角度の直線は除く。
  - 直線のなす角度はある程度の大きさ以上を持つものとする。
- (3)全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

消失点を通る全ての直線を検出し、それらの直線群の中で、その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度に最も近いものを道路領域の右端を示す直線とみなす。この2つの直線で囲まれた領域を台形の形で切り出す(図2)。

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

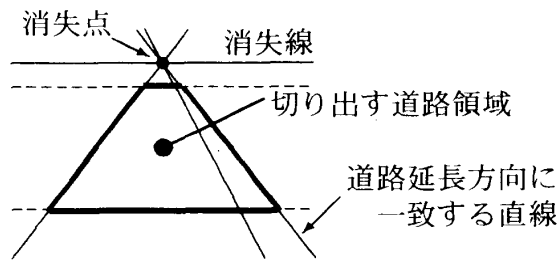


図2 消失点と抽出領域

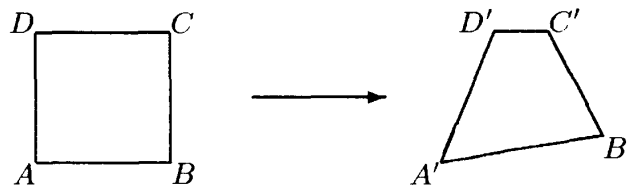


図3 正方形から四辺形への投影変換

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。

### 5.3 投影変換

台形の形に切り出された道路領域に対して、任意の四辺形から正方形への投影変換<sup>11)</sup>を用いて、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。(図3)

正方形の4頂点の座標を  $A(0, 0)$ ,  $B(1, 0)$ ,  $C(1, 1)$ ,  $D(0, 1)$  とし、投影変換後の座標をそれぞれ  $A'(x_0, y_0)$ ,  $B'(x_1, y_1)$ ,  $C'(x_2, y_2)$ ,  $D'(x_3, y_3)$  とすると、正方形から任意の四辺形への投影変換式は以下のように表せる。

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ w' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} \tag{6}$$

$$\Delta x_1 = x_1 - x_2, \quad \Delta x_2 = x_3 - x_2, \quad \Delta x_3 = x_0 - x_1 + x_2 - x_3,$$

$$\Delta y_1 = y_1 - y_2, \quad \Delta y_2 = y_3 - y_2, \quad \Delta y_3 = y_0 - y_1 + y_2 - y_3,$$

if  $\Delta x_3 = 0$  and  $\Delta y_3 = 0$  then

$$a_{11} = x_1 - x_0,$$

$$a_{21} = x_2 - x_1,$$

$$a_{31} = x_0,$$

$$a_{12} = y_1 - y_0,$$

$$a_{22} = y_2 - y_1,$$

$$a_{32} = y_0,$$

$$a_{13} = 0,$$

$$a_{23} = 0,$$

$$a_{33} = 1$$

if  $\Delta x_3 \neq 0$  or  $\Delta y_3 \neq 0$  then

$$a_{13} = \frac{\begin{vmatrix} \Delta x_3 & \Delta x_2 \\ \Delta y_3 & \Delta y_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \Delta x_1 & \Delta x_2 \\ \Delta y_1 & \Delta y_2 \end{vmatrix}}$$

$$a_{23} = \frac{\begin{vmatrix} \Delta x_1 & \Delta x_3 \\ \Delta y_1 & \Delta y_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \Delta x_1 & \Delta x_2 \\ \Delta y_1 & \Delta y_2 \end{vmatrix}}$$

$$a_{11} = x_1 - x_0 + a_{13}x_1,$$

$$a_{21} = x_3 - x_0 + a_{23}x_3,$$

$$a_{31} = x_0,$$

$$a_{12} = y_1 - y_0 + a_{13}y_1,$$

$$a_{22} = y_3 - y_0 + a_{23}y_3,$$

$$a_{32} = y_0,$$

$$a_{33} = 1$$

ここで  $(u, v)$  は正方形 ABCD 内の点の座標を表し,  $(u, v)$  を投影変換して得られる課標  $(x, y)$  は,

$$x = x'/w', \quad y = y'/w' \quad (7)$$

となる。四辺形から正方形への投影変換は逆変換式を利用し, 以下のように表せる。

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} \quad (8)$$

$$A_{11} = a_{22}a_{33} - a_{23}a_{32}, \quad A_{21} = a_{23}a_{31} - a_{21}a_{33},$$

$$A_{31} = a_{21}a_{32} - a_{22}a_{31}, \quad A_{12} = a_{13}a_{32} - a_{12}a_{33},$$

$$A_{22} = a_{11}a_{33} - a_{13}a_{31}, \quad A_{32} = a_{12}a_{31} - a_{11}a_{32},$$

$$A_{13} = a_{12}a_{23} - a_{13}a_{22}, \quad A_{23} = a_{13}a_{21} - a_{11}a_{23},$$

$$A_{33} = a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}$$

四辺形 A'B'C'D' 内の点  $(x', y')$  が正方形 ABCD に透視変換された座標  $(x, y)$  は,

$$x = v/w, \quad y = v/w \quad (9)$$

となる。この投影変換を用いることにより撮影時のカメラの焦点距離, 角度など画像以外

から得る情報を必要としない。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と考えられる。

## 6. 路面表示の抽出

投影変換された画像を白黒濃淡画像に変換し、2値化処理をすることで路面表示の抽出ができる。

### 6.1. 画像の2値化

路面表示は周囲の道路領域に比べて輝度が高いため、画像を適切な閾値で2値化することで抽出できる。ここでは大津の2値化<sup>9,pp.42-46</sup>)と呼ばれる判別分析2値化法を用いて閾値を決定する。

### 6.2 ラベリング

2値化処理後の画像にラベリングを行うことで、個々の路面表示が得ることができる。得られた路面表示を画像内から切り出し、次にパターンマッチングを行う。

## 7. パターンマッチング

抽出された路面表示と標準パターンとのマッチングにより路面表示の認識を行う。マッチングには周辺分布の情報を用いて単純類似度法で計算をする。

### 7.1 周辺分布を用いた単純類似度

抽出された路面表示（以後、単にパターンと呼ぶ）の周辺分布を調べ、そのデータを単純類似度法に適応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のように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(式(10))。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

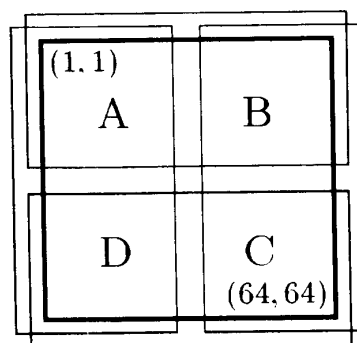


図4 周辺分布を取る範囲

をとる (式(11))。

$$p_{AB}(x) = \sum_{y=1}^{32} d(x, y), \quad p_{CD}(x) = \sum_{y=33}^{64} d(x, y) \quad (10)$$

$$p_{DA}(y) = \sum_{x=1}^{32} d(x, y), \quad p_{BC}(x) = \sum_{x=33}^{64} d(x, y) \quad (11)$$

(3) そのデータを256次元 (64×4) のベクトル  $\mathbf{f}$  に置き換え (式(12)), 標準パターン  $\mathbf{g}$  との単純類似度  $s$  (式(13)) を求める。

$$\mathbf{f} = \{\{p_{AB}\}, \{p_{CD}\}, \{p_{DA}\}, \{p_{BC}\}\} \quad (12)$$

$$s = \frac{\sum_i \{\mathbf{f}(i) \cdot \mathbf{g}(i)\}}{\sqrt{\sum_i \{\mathbf{f}(i)\}^2} \times \sqrt{\sum_i \{\mathbf{g}(i)\}^2}} \quad (13)$$

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, このような手法で十分に認識可能と考えられる。

## 8. 認識実験

以上に述べた処理手順に従い, 実際の道路情景画像を用いた路面表示の認識実験を行った。ここでは2種類の画像について, それぞれの処理の途中結果, および最終的な認識結果を示す。実験は, 道路情景をポラロイドカメラを用いて写真撮影し, その画像をフルカラーイメージスキャナを用いて取り込んだ。計算は SunSPARCstation10 上で行った。原画像をそれぞれ図5, 図9に示す。画像の大きさは280×220画素である。



図5 道路情景画像 (A)



図9 道路情景画像 (B)



### 8.1 道路領域の抽出

輪郭線を抽出し領域分割された画像を図6, 図10に示す。

分割された道路領域を再結合することで原画像より抽出した道路領域を図7, 図11に示す。原画像と見比べると, 道路領域がほぼ正しく抽出されていることがわかる。

道路領域内の検出された直線, および切り出し領域を図8, 図12に示す。道路の境界や区画線から, 消失点と道路の延長方向と一致する直線が正しく得られていることがわかる。

### 8.2 投影変換

投影変換した画像を図13, 図14に示す。ここで画像右下と左下の部分が消えているのは, 道路領域を切り出す際にその切り出し範囲が画像外にまで及んでいたため, その部分の画素情報が得られなかったためである。どちらの画像も道路に垂直な方向から見下ろしたような画像に正しく変換されていることがわかる。特に図13では, 「止マレ」の文字が投影変換によって明瞭になっている。

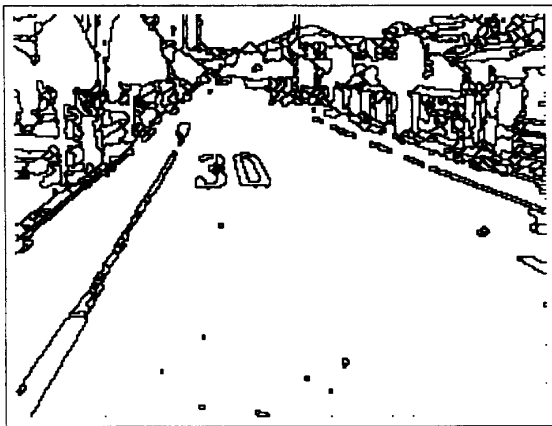


図6 領域分割 (A)

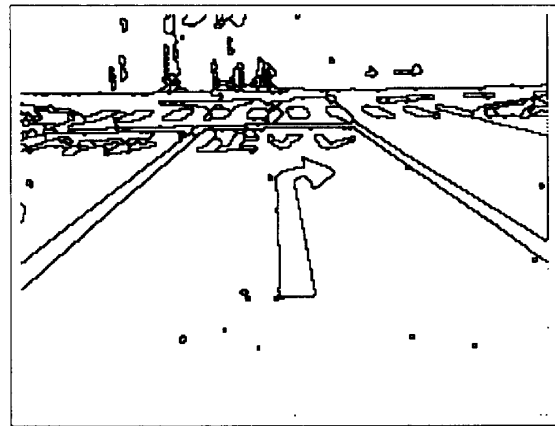


図10 領域分割 (B)

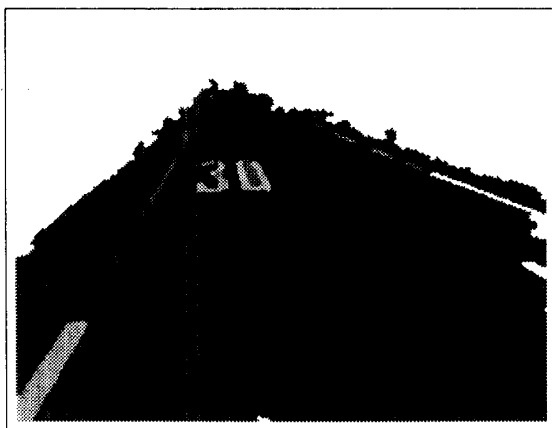


図7 抽出した道路領域 (A)

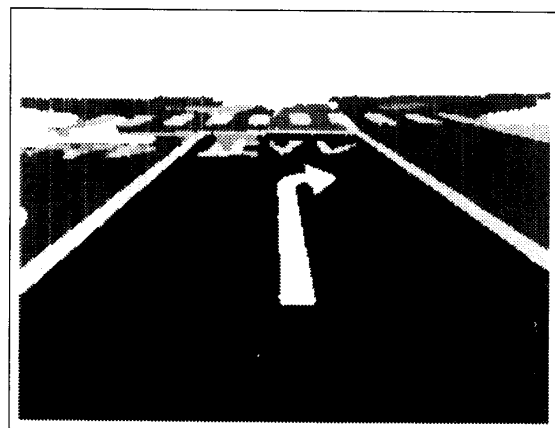


図11 抽出した道路領域 (B)

### 8.8 路面表示の抽出

2 値化処理により，路面表示を抽出した結果を図15，図16に示す。抽出された路面表示

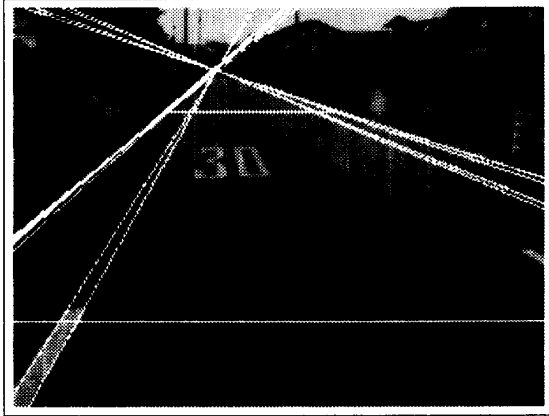


図 8 切り出す道路領域 (A)

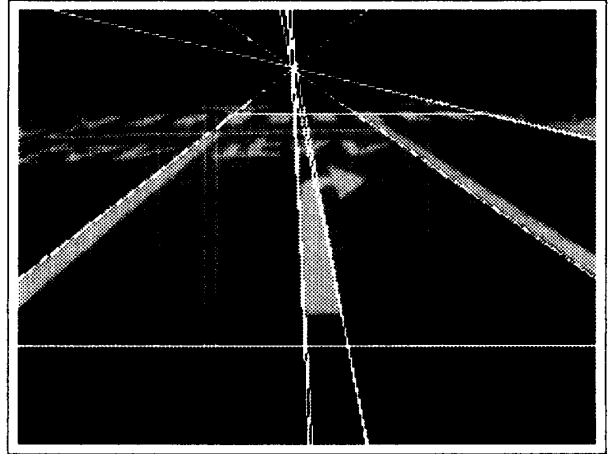


図12 切り出す道路領域 (B)

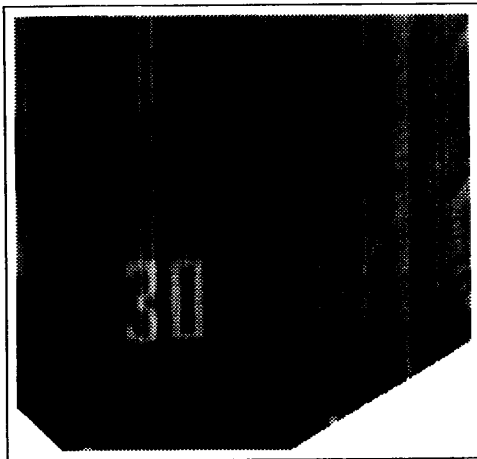


図13 投影変換した面像 (A)

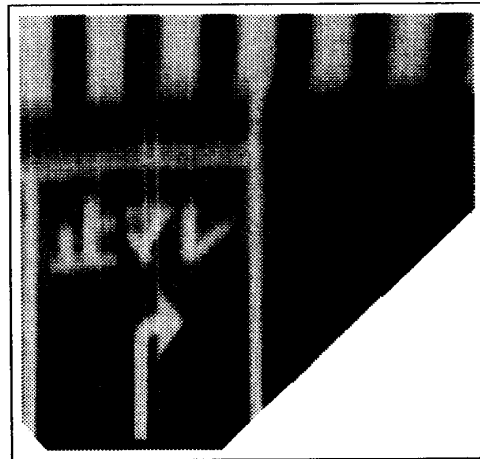


図14 投影変換した画像 (B)

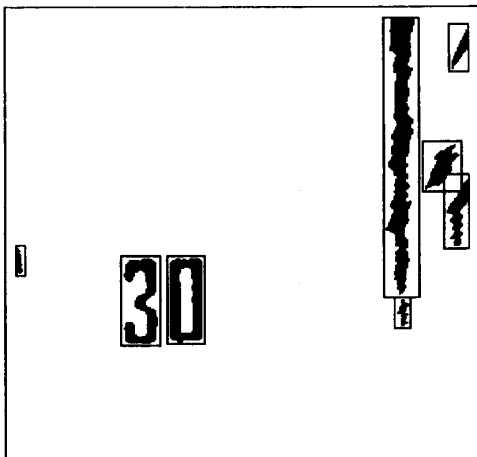


図15 抽出された路面表示 (A)

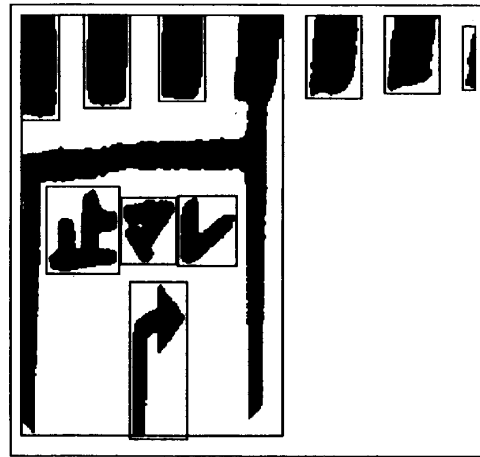


図16 抽出された路面表示 (B)

を矩形で囲み示している。図15の右側部分に明らかに路面表示とは思われないものが抽出されているが、これはマッチングの際の類似度の値で棄却可能である。

#### 8.4 パターンマッチング

パターンマッチングの結果を図17の表に示す。横に前の処理にて抽出された主要な路面表示、縦に標準パターンを示す。個々の路面表示において、単純類似度が最大となっているものに下線を引いてある。いずれのパターンにおいても、該当する標準パターンとの類似度が他のものに比べて比較的高い値が得られており、正しく認識されていることがわかる。

	3	0	止	▼	↘	↗
0	61.6	<u>92.5</u>	45.8	44.7	50.3	39.8
2	62.8	64.8	41.3	53.9	49.0	32.9
3	<u>82.7</u>	65.1	48.5	44.4	31.2	23.7
4	44.3	38.3	67.0	42.4	29.3	30.2
5	46.7	50.2	30.5	32.1	19.5	17.6
↖	33.3	38.2	16.0	22.2	11.6	12.8
↕	32.5	29.1	55.0	35.2	26.1	23.3
↑	28.3	20.6	50.4	66.7	37.3	25.9
↗	20.7	37.0	22.3	41.4	34.2	<u>86.8</u>
↘	56.5	67.6	45.7	46.3	56.2	49.4
X	54.1	39.8	46.3	51.5	39.6	27.1
◇	24.1	36.0	41.2	43.3	28.2	31.8
■	62.3	76.3	62.1	68.9	58.3	44.3
止	38.6	35.4	<u>74.3</u>	32.6	31.3	23.1
▼	42.1	42.5	45.6	<u>92.9</u>	50.8	42.7
↘	25.5	52.2	42.5	43.4	<u>87.7</u>	32.5

図17 パターンマッチングの結果 (単純類似度  $\times 10^{-2}$ )

## 9. む す び

本稿では、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。本手法の特徴として以下に記すような点が挙げられる。

- 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ることにより、道路情景の撮影の際の焦点距離、角度などパラメータを必要とせず、道路領域の4頂点の座標のみで2次元平面に投影することが可能である。
- 領域分割された画像を道路の特徴から定められた結合条件によって再結合した結果、ほぼ正しい道路領域を得ることができた。
- 周辺分布を画像を4区画に分割して得ることでパターンの特徴をより反映した周辺分布が得られる。これは路面表示などの比較的単純な文字や数字、記号では有効であると考えられる。

また今後の課題としては、

- 道路領域の抽出のための結合条件をより詳しく設定し、分岐やカーブのある複雑な道路情景画像においても道路領域を正確に抽出すること。
- 区画線の形状を認識し、走行領域を表す白線や停止線などの情報を得る。
- 路面表示には「30」や「止マレ」など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互いの位置関係を認識に用いる。

などの点が考えられる。

## 参 考 文 献

- 1) 小沢慎治, 全 炳東: 自律走行への視覚応用, 電子情報通信学会誌, **74**, **4**, pp. 403-408 (1991).
- 2) 農宗千典: 自動車における画像処理, テレビジョン学会誌, **46**, **8**, pp. 978-984 (1992).
- 3) 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).
- 4) 森 満雄: 新版道路工学, 理工図書株式会社 (1994).
- 5) 藪木 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, 電子情報通信学会論文誌(D-II), **J77-D-II**, **7**, pp. 1393-1394 (1994).
- 6) 相馬秀幸, 木村 新, 酒井芳雄: 逆三角形に注目した指示標識の抽出, 電子情報通信学会秋季全国大会講演論文集, D-337 (1993).
- 7) 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, 電子情報通信学会秋季全国大会講演論文集, D-288 (1994).
- 8) 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, 平成7年電気・情報関連学会中国支部連合大会, p.374 (1995).
- 9) 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, 電子情報通信学会信学技報, PRU95-188 (1995).
- 10) 森 俊二, 坂倉柊子: 画像認識の基礎 [I] —— 前処理と形の特徴抽出 ——, オーム社 (1993).
- 11) G. Wolberg: Digital image Warping, IEEE Computer Society Press (1994).

# Extraction and Recognition of Road Markings from a Road Scene Image

Hiroshi OHTA\*\*, Yasuhiro SHIMADA\* and Mitsuru SHIONO\*

*\*Faculty of Engineering,*

*Okayama University of Science,*

*Ridai-cho 1-1, Okayama 700 Japan*

*\*\*Graduate School,*

*Shizuoka University*

(Received October 7, 1996)

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