

車両の姿勢・速度情報を利用した車載カメラ画像からの路面標示認識

野田 雅文[†] 高橋 友和^{††} 出口 大輔[†] 井手 一郎[†] 村瀬 洋[†]
小島 祥子^{†††} 内藤 貴志^{†††}

[†] 名古屋大学 〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町

^{††} 岐阜聖徳学園大学 〒500-8288 岐阜県岐阜市中鶉 1-38

^{†††} (株)豊田中央研究所 〒480-1192 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道 41-1

E-mail: †{mnoda,ddeguchi,ide,murase}@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp, ††ttakahashi@gifu.shotoku.ac.jp

あらまし ITS 技術の普及に伴い車載カメラから得られた画像から交通環境を認識する研究が多く行われている。路面標示の認識もその 1 つである。車載カメラ画像から路面標示を認識する上での主要な問題点として、画像中の路面標示の見えが様々に変動するため、認識が困難となることが挙げられる。このような見えの変動は、路面標示に対する自車の位置や姿勢を要因とする大きさの違いや形状の歪み、車載カメラの内部特性によるぼけなどを含む。本稿では、車載カメラ画像中の路面標示を対象として見えの変動に頑健な認識手法を提案する。提案手法は、ジャイロセンサから得られる姿勢情報を用いて車載カメラ画像を道路平面画像に安定した射影変換を行う。また、生成型学習法を適用することによって見えの変動に対応する。本稿では、現実にもつれた見えの変動を生成するために、実際に走行することで取得した車両の姿勢・速度に関する統計情報を利用する。実際の車載カメラ画像を用いた検証において、提案手法は自車から 40 m 以内の路面標示に対して 95.7% の高い認識率を達成することにより、有効性を確認した。

キーワード 路面標示認識, 生成型学習, 車載カメラ, ジャイロセンサ

Recognition of Road Markings in In-Vehicle Camera Images referring to Posture and Speed of the vehicle

Masafumi NODA[†], Tomokazu TAKAHASHI^{††}, Daisuke DEGUCHI[†], Ichiro IDE[†], Hiroshi MURASE[†], Yoshiko KOJIMA^{†††}, and Takashi NAITO^{†††}

[†] Nagoya University Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi 464-8601 Japan

^{††} Gifu Shotoku Gakuen University Nakauzura 1-38, Gifu, Gifu, 500-8288 Japan

^{†††} Toyota Central Research & Development Laboratories, Inc.

E-mail: †{mnoda,ddeguchi,ide,murase}@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp, ††ttakahashi@gifu.shotoku.ac.jp

Abstract As the ITS technology evolves, many works on traffic recognition using images taken by in-vehicle camera increase. However, a major problem for recognition from in-vehicle images is road markings usually appearances vary. The variance of appearance includes size differences and shape deformation which are dependent on the position and posture of the vehicle, blur effect by internal property of camera, and so on. In this paper, we propose a novel recognition method of road markings from in-vehicle camera images. We transform the in-vehicle-camera image into road-plane image using the posture taken from gyro sensor. Also, we handle the variation of appearance by applying the generative learning method. For realistic generation of appearance, we consider statistic data of posture and speed of vehicle. The effectiveness of the proposed method was confirmed by experiments with actual in-vehicle camera images. High average recognition rate of 95.6 % is achieved for recognizing road markings within 40 meters from the vehicle.

Key words Road Markings Recognition, Generative Learning, In-Vehicle Camera, Gyro Sensor

1. はじめに

ITS 技術の発展に伴い、自動車に搭載された様々なセンサ機器を用いることで交通環境を認識する技術への要

求が高まっている。交通環境を認識することによって、より高度な運転支援や安全・快適なサービスをドライバーへ提供することが可能となる。このような交通環境を認識する技術の一つとして、車載カメラから得られる画像

中の路面標示の認識が挙げられる．図 1 に示すように路面標示 (Road markings) とは，路面に印された通行領域の区間線 (Lane boundary) や自車の走行方向指示，速度規制などをドライバへと喚起するものである．この路面標示を認識することで，ドライバの運転支援へと役立つことが考えられる．また，交差点や一時停止線の前に存在する路面標示を認識することにより，たとえば，交差点の存在を予告するといった応用も実用化され始めている [1]．なお，以降本稿では車両の通行領域を示す区画線を路面標示と区別して扱い，区画線以外の路面標示を認識の対象とする．

車載カメラ画像から路面標示を認識する上での主要な問題点として，画像中の路面標示の見えが様々に変動することが挙げられる．このような見えの変動は，路面標示に対する自車の位置や姿勢の変化を要因とする大きさの違いや形状の歪み，車載カメラの内部特性によるぼけなどが含まれる．本研究ではこのような見えの変動を含む路面標示の認識を目的とする．

はじめに車載カメラ画像を図 2 で示す道路平面を上空から俯瞰した画像へと射影変換を行う．これによって，以降の処理を簡便にするとともに，路面標示を基準とする形状へと近づくため，認識が比較的容易となる．本稿では，この俯瞰画像を道路平面画像と呼ぶ．道路平面画像は，路面や路上物体の認識を目的とした研究において一般的に用いられている [2]–[3]．道路平面画像を得るため，画像中の射影変換に不変な特徴点を用いる手法 [4] が提案されている．この手法では，このような特徴点を得るために区画線を利用しているが，実際には区画線の抽出自体が困難である場合や，区画線自体が存在しない場合があるという問題点がある．また，区画線を用いずに路面上の任意の特徴点を用いる手法 [3] も提案されているが，常に安定した特徴点を抽出することは難しい．これらのことから，画像特徴のみを用いて常に安定して道路平面画像を得ることは困難である．これに対して，提案手法では画像特徴を用いずにジャイロセンサから得られる自車の姿勢情報を用いて常に安定した道路平面画像を得る．ただし，この射影変換ではすべての見えの変動を補正することは困難であるため，後述する生成型学習法を利用する．

道路平面画像中の路面標示認識に関して，Liらは路面標示の輪郭情報を高次のモーメント情報で記述した上で，照合する手法 [5] を提案している．しかし，実環境では路面標示が自車から遠方に存在する場合や路面標示自体に欠けやかすれが存在する場合などに輪郭が曖昧となるため，安定して輪郭情報を抽出することは困難である．これに対して，三宅らは実際に撮影した路面標示を用いて学習を行い，ニューラルネットワークと DP マッチングを用いて路面標示を認識する手法 [6] を提案している．彼らの手法は実際に撮影された路面標示を用いているため，形状の歪みや部分的な欠けやかすれを含んでいる場

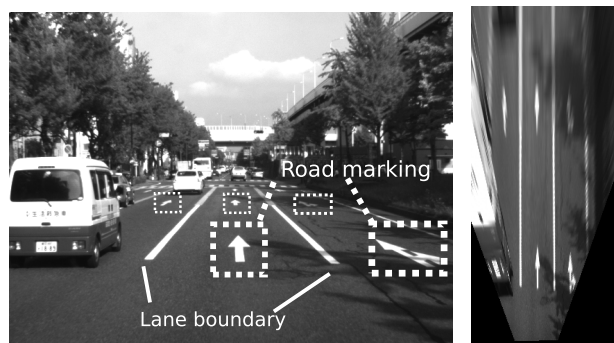


図 1: 車載カメラ画像

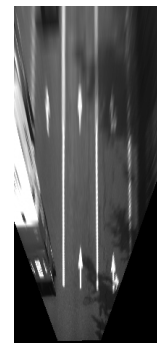


図 2: 道路平面画像

合にもそれらを事前に学習しておくことにより対応可能である．しかし，様々な見えの変動に対応するためには実際に多くの学習画像を撮影によって収集する必要がある．この問題に対して，石田らは道路標識を対象に少数の学習画像から多数の学習画像を生成する生成型学習法を提案している [7] [8]．生成型学習法は，認識対象の見えの変動を生成要因ごとにモデル化し，それらが持つ生成パラメータを確率的に発生させることで，現実にも似た学習画像の生成を行う．本稿ではこの生成型学習法を利用することで，射影変換では補正できない見えの変動に対応する．生成型学習法では実環境にも似た学習画像を生成するためには，認識対象に適した生成モデル，および，生成パラメータの分布を考慮する必要がある．路面標示の場合，道路標識と異なり道路面とカメラの撮影面との角度が急であるため，自車の姿勢変動によって見えが大きく変動する問題を持つ．そこで，提案手法では実際の走行環境を仮定した路面標示の生成モデルを用いたうえで，事前に取得した車両の姿勢・速度に関する統計情報を用いることで，車載カメラ画像中の路面標示の認識に適した生成を行う．

以下，2. では提案手法による路面標示認識について述べる．3. で実際の車載カメラ画像を用いた路面標示の認識実験について述べ，その結果を考察する．最後に 4. をまとめとする．

2. 見えの変動を含む路面標示の認識

2.1 アプローチ

本研究では，入力された車載カメラ画像から道路平面画像へと射影変換することで，路面標示の大きさの違いや形状の歪みを補正する．この時，本稿では車載カメラと同様に車両に搭載されたジャイロセンサから得られる姿勢情報を用いることによって補正を行う．しかし，ジャイロセンサの測定誤差などによって路面標示の大きさの違いや形状の歪みを完全に補正することは困難である．また，カメラの内部特性によるぼけなどは射影変換によっては補正することはできない．そのため，路面標示に対する生成型学習法を適用することで，このような見えの変動に対応する．提案手法では，路面標示に対す

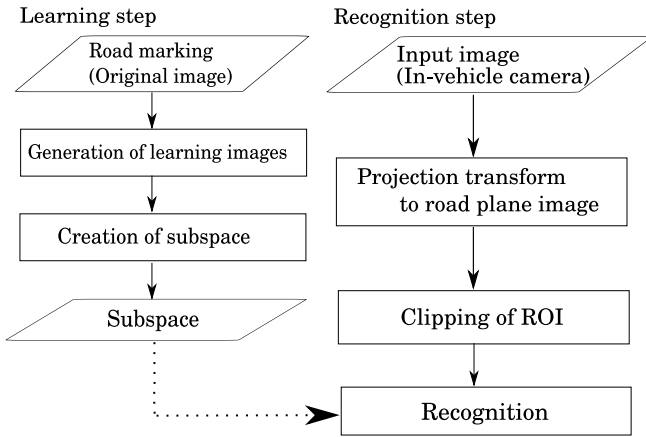


図 3: 処理の流れ

る生成モデルを定義するとともに、それらのモデルが持つ生成パラメータ分布を実際に走行した際の姿勢・速度に関する統計情報から求める。

以上のアプローチに基づいて、見えの変動に頑健な路面標示の認識を行う。

2.2 手法の流れ

提案手法の処理の流れを図 3 に示す。提案手法では認識のフレームワークとして部分空間法 [10] を用いる。部分空間法は多数の学習画像を用いてそれらの画像の共通する特徴を記述した部分空間を作成する学習段階と、入力画像を作成した部分空間と照合する認識段階からなる。

学習段階では、路面標示の原画像から実環境における見えの変動を含んだ学習画像を仮想的に多数生成する。そして、それらの学習画像から認識対象のカテゴリ毎の部分空間を作成する。

認識段階では、車載カメラから得られる画像を道路平面画像へと射影変換する。そして、道路平面画像上から路面標示を切り出す。なお、本稿では路面標示を周辺に比べて高い輝度を持つ領域として抽出した上で、認識対象とするもののみを手動で選択した。そして、学習段階で作成した部分空間と切り出した路面標示を照合することによって、路面標示の認識を行う。

2.3 姿勢情報を用い道路平面画像への射影変換

車載カメラ画像上の点 $(x' y')^T$ と道路平面画像上の点 $(x y)^T$ は以下の関係を持つ。ただし、道路は平面であると仮定する。

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} \sim M \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

ここで、 M は 3×3 の射影変換行列である。

M を求めるためには 2 つの画像間における対応する 4 点を得れば良いことが知られている [9]。しかし、画像特

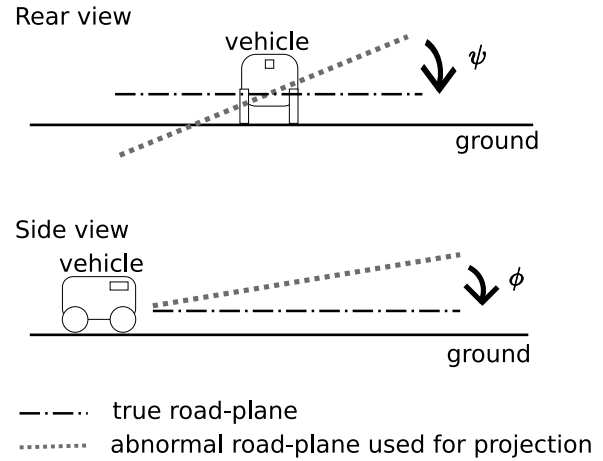


図 4: 射影変換の補正

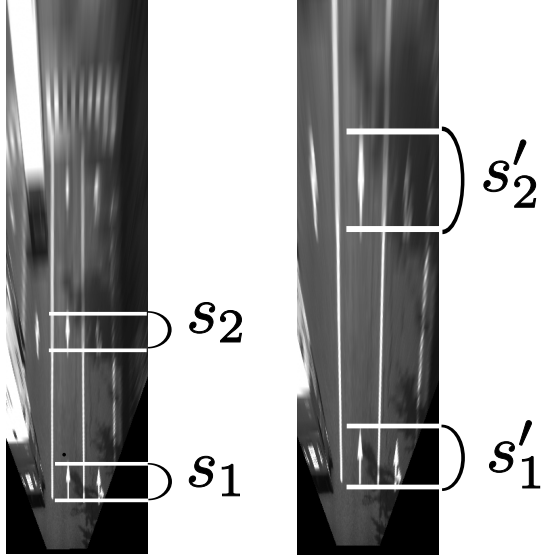
徴からフレーム毎に安定して正しい 4 点の対応を求めることは困難である。そのため、本稿では M の推定に必要な 4 点を求めるためにジャイロセンサを利用する。

車載カメラ画像から道路平面画像へと射影変換することは、図 4 で示す自車前方の道路平面上の矩形を得ることに相当する。図 4 で示す正しい道路平面を得ることができれば、図 5 (a) のように歪みのない道路平面画像へと射影変換を行うことができる。この場合には、道路平面画像上における路面標示の大きさや形状が自車からの距離によらず一定となる ($s_1 = s_2$)。しかし、実際には自車の姿勢は走行に伴い変動するため、図 4 で示す正しい平面からのずれが生じた誤った道路平面を得る場合がある。このとき、図 5 (b) のように歪みのある道路平面画像へと射影変換されるため、見えの変動を十分に補正できない。この場合には、道路平面画像上の路面標示の大きさや形状が自車からの距離によって一定でなくなる ($s'_1 \neq s'_2$)。ここで、車両の姿勢であるピッチ角 ϕ [°]、および、ロール角 ψ [°] を考える。これらの角度は車両が路面に対して水平である状態を基準とする。そして、この姿勢の変化によって道路平面のずれが生じるため、姿勢情報をジャイロセンサから直接得ることによって、このずれを補正できる。

ただし、車両の姿勢は 3 軸回転であるため、ヨー角 θ [°] が残されている。 θ に関しては、道路平面画像の画像面に対する回転に相当する。このような回転を補正するためには、現在走行している道路の方向を必要とする。そのため、ここでは θ についての補正は行わずに、次節の生成型学習によって対応する。

2.4 路面標示認識に対する生成型学習

道路平面画像への射影変換を行うことによって、画像中の路面標示の大きさの違いや形状の歪みを補正することができる。しかし、ジャイロセンサの計測誤差によって完全な補正は困難である。また、カメラの内部特性による光学ぼけなどを射影変換によって補正することはできない。提案手法では、このような見えの変動に対して



(a) 歪みなし (b) 歪みあり

図 5: 道路平面画像の歪み (s_1, s_2, s'_1, s'_2 は各道路平面中の路面標示の大きさを示す.)

表 1: 生成モデル, および, 生成パラメータ

生成モデル	生成パラメータ	記号
形状の歪みモデル 低解像度化モデル	路面標示までの距離	d [m]
	道路中心からのずれ	l [m]
	路面からの高さ	h [m]
	姿勢	θ [°]
		ϕ [°]
		ψ [°]
		ジャイロの計測誤差
	ε_ϕ [°]	
	ε_ψ [°]	
光学ぼけモデル	散乱円半径	r [pixel]
動きぼけモデル	露出時間	T [s]
	露出時間中の枚数	F [枚]
	位置の変化	Δd [m/s]
		Δh [m/s]
		Δl [m/s]
	姿勢の変化	$\Delta \theta$ [°/s]
$\Delta \phi$ [°/s]		
$\Delta \psi$ [°/s]		
切り出し誤差モデル	切り出し誤差	Δx [pixel]
		Δy [pixel]
		Δs_x [pixel]
		Δs_y [pixel]

生成型学習法を適用する.

生成型学習では, 現実に則した見えの変動を持つ画像を生成するため, 各変動要因に対して, 生成モデルを定義し, 各生成モデルが持つ生成パラメータの分布を設定する必要がある. 本節では, この生成モデル, および, 生成パラメータについて述べる.

2.4.1 生成モデル

実環境における見えの変動を生成するため, 以下の5

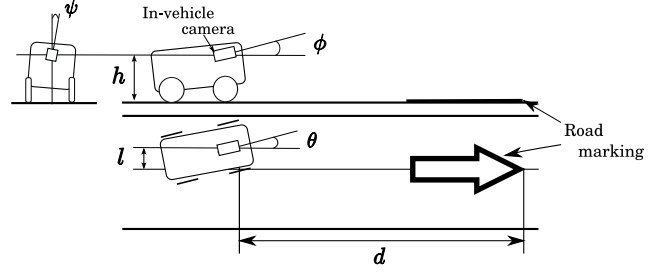


図 6: 車載カメラと路面標示の位置関係

つの生成モデルを定義する. 各生成モデルが持つ生成パラメータを表 1 に示す. また, 図 6 に示す自動車と路面標示の位置関係を考える.

・形状の歪みモデル

道路平面画像を作成する際に用いる射影変換の誤差によって発生する. 路面標示の形状の歪みを生成モデルとして考慮する. まず, 図 6 に示す車両の位置・姿勢に関するパラメータ ($d, h, l, \theta, \phi, \psi$) を一意に決めることで, 正しい射影変換行列 M を求める. この M を用いて, 仮想的な車載カメラ画像を得る. 次に道路平面画像へと射影変換を行う. このとき, 正しい射影変換行列 M と実際にジャイロセンサから得られる姿勢情報から計算した M^{-1} の間には誤差が生じる. そのため, M に対してジャイロセンサの計測誤差 ($\varepsilon_\theta, \varepsilon_\phi, \varepsilon_\psi$) を加えた \hat{M} を用いる. これによって, 形状の歪みを生成することができる. このモデルで用いるパラメータは, 自車の走行に伴い変動するため, 正規分布を仮定し, 実際に走行中の車両の姿勢・速度に関する統計情報を用いることでその分布を設定する.

・低解像度化モデル

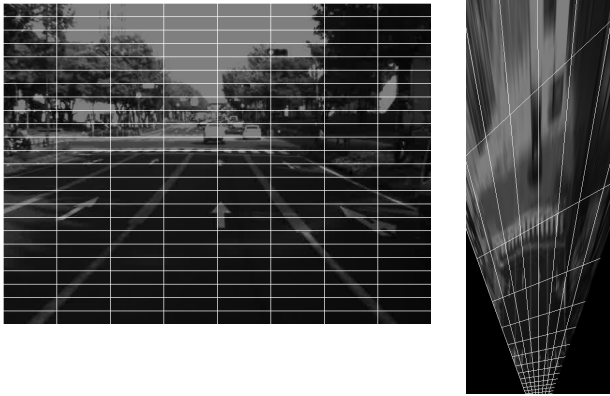
車載カメラ画像中の路面標示は奥行を持つ平面上に存在するため, 道路平面画像の解像度は自車から遠い部分ほど低くなる. 図 7 から車載カメラ画像上に等間隔に描いたグリッドが, 道路平面画像の下部ではグリッドの幅が上部に比べて狭いため, 元の解像度が保たれていることが分かる. 低解像度化は道路平面画像への射影変換を行うことによって起こるため, このモデルで用いるパラメータは形状の歪みモデルと等しい.

・光学ぼけモデル

車載カメラから撮影した画像には, 等方性の光学ぼけが発生すると仮定できる [11]. このような光学ぼけは PSF (Point Spread Function) を入力画像へと畳み込むことで生成する. つまり, 入力画像を I_0 としたとき, 出力画像 I_1 は以下のように与えられる.

$$I_1(x, y) = I_0(x, y) * h_r(x, y) \quad (2)$$

ここで, h_r はカメラの散乱円半径を r [pixel] としたときの PSF である. また, r は自車の走行によって変動しないため, 既知の定数を用いる.



(a) 車載カメラ画像 (b) 道路平面画像
図 7: 低解像度化モデル

・動きぼけモデル

カメラの露出時間 $T[s]$ 中に自車が動くことによって動きぼけが発生する。本稿では自車の動きとして、直線運動、回転運動、振動による微小な運動を考慮する。 T は最大でも $1/30[s]$ 以下と微小な時間であるため、これらの動きは等速・等角速運動として近似できる。ここで、微小時間 $\Delta t[s]$ における自車の位置・姿勢の変化量を $(\Delta d, \Delta h, \Delta l, \Delta \theta, \Delta \phi, \Delta \psi)$ とする。動きぼけを生成するため、はじめに基準となる時刻 t における射影変換行列 M_t を求める。 M_t は形状の歪みモデルと同様の手法で与える。そして、 t における自車の位置・姿勢に変化量を加えることによって $t + \Delta t [s]$ における射影変換行列 $M_{t+\Delta t}$ を求める。このような射影変換行列群 $M_t, M_{t+\Delta t}, \dots, M_{t+(F-1)\Delta t}$ を用いて $F = (T/\Delta t)$ 枚の車載カメラ画像を生成する。最後にこれらの画像を積分することで動きぼけを生成する。このモデルで用いるパラメータのうち、 T, F は自車の走行に伴い変動しないため、既知の定数とする。自車の位置・姿勢の変化量 $(\Delta d, \Delta h, \Delta l, \Delta \theta, \Delta \phi, \Delta \psi)$ は正規分布を仮定した上で、その分布を形状の歪みモデルと同様に設定する。

・切り出し誤差モデル

路面標示を切り出す際、理想的な位置と大きさに対する切り出す矩形の位置のずれ $(\Delta x, \Delta y)$ と大きさのずれ $(\Delta s_x, \Delta s_y)$ が考えられる。これらのずれはサブピクセル程度のずれであるため、正規分布と仮定した上で、微小な値として設定する。

2.4.2 生成手法

前節で定義した生成モデルを用いて以下の手順で路面標示の原画像から見えの変動を含む画像を生成する。生成手順を図 8 に示す。また、これによって生成された路面標示の画像例を図 9 に示す。

【Step 1】 基準となる時刻 t における射影変換行列 M_t を用いて、路面標示の原画像を仮想的な 3 次元空間中の路面に射影することで車載カメラ画像を生成する。

【Step 2】 得られた車載カメラ画像に対して散乱円半径

r の光学ぼけを加える。

【Step 3】 M_t を基準とし、微小時間 Δt における自車の運動を加えたときの $M_{t+\Delta t}, \dots, M_{t+F\Delta t}$ を用いて、Step 1, Step 2 と同様の処理により、 F 枚の車載カメラ画像を生成する。

【Step 4】 Step 3 で生成した F 枚の車載カメラ画像を積分することによって、動きぼけを加える。

【Step 5】 M_t^{-1} を用いて道路平面画像へと射影変換を行う。

【Step 6】 道路平面画像から輝度の存在する領域を路面標示として切り出す。

【Step 7】 切り出した領域に対して位置と大きさのずれを加える。

【Step 8】 Step 7 で得られた領域を原画像の大きさに正規化する。

2.4.3 車両の姿勢・速度に関する統計情報を用いた生成パラメータ分布の設定

各生成モデルが持つ生成パラメータのうち、自車の運動に関係するものに関して実際に走行中の車両から計測されたパラメータを与えることで、現実の走行時と同様の見えの変動を含む画像を生成できると考えられる。提案手法では、このような生成パラメータが正規分布に従うと仮定した上で、その分布の平均と標準偏差を実際の走行によって得られた車両の姿勢・速度に関する統計情報を用いることで決定する。用いる情報は以下のものである。

- (1) 姿勢 (ヨー・ピッチ・ロール)
- (2) 角速度 (ヨー・ピッチ・ロール)
- (3) 車速
- (4) 上下の振動速度

提案手法では、直進走行時を仮定しているため、これらの情報のうち直進区間に相当するものを抽出し、その区間における平均と標準偏差を利用する。

2.5 部分空間法による認識

2.5.1 学習段階

部分空間法では多数の学習画像を近似する低次元の部分空間をクラスごとに作成する。ここで、路面標示のクラス数を M 、クラスごとに生成する学習画像の数を N とする。また、路面標示は自車からの距離に応じて解像度が大きく異なるため、距離ごとに学習することで認識精度が向上すると考えられる。そのため、学習は自車からの距離 $d [m]$ ごとに行う。

自車からの距離 d のクラス m における n 番目の生成学習画像をラスタスキャン方式でベクトル化したものを $x_{m,d,n}$ と表すとき、自己相関行列 $S_{m,d}$ は次式で与えられる。

$$S_{m,d} = X_{m,d} X_{m,d}^T \quad (3)$$

$$X_{m,d} = [x_{m,d,1} \cdots x_{m,d,N}] \quad (4)$$

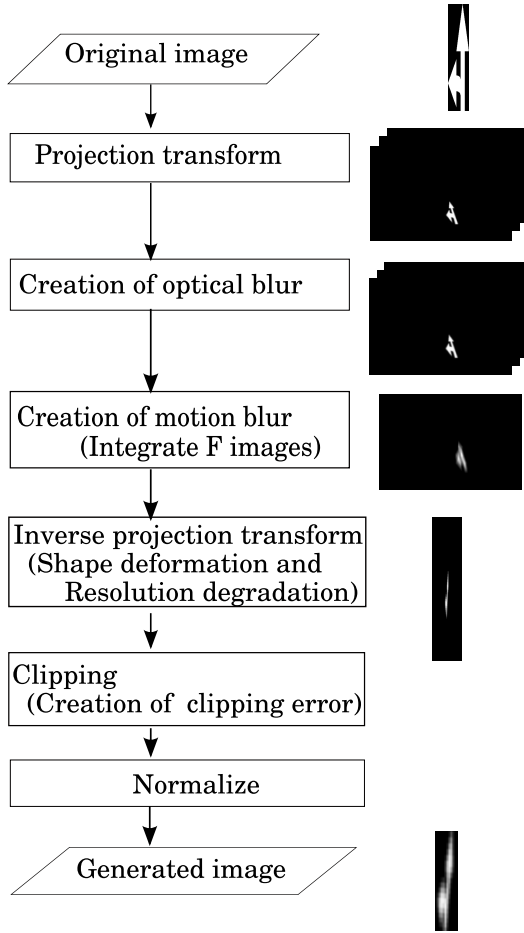
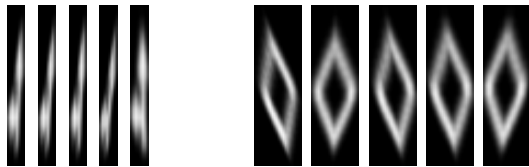


図 8: 生成過程



(a) ‘直進および左折’ (b) ‘横断歩道予告’

図 9: 生成画像の例 (自車からの距離 20 [m])

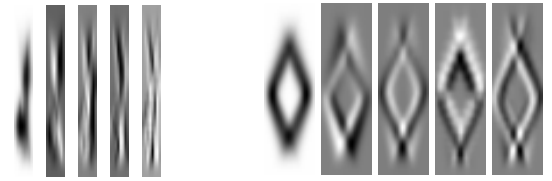
得られた $S_{m,d}$ に関して以下の固有値問題を解くことで固有値 $\lambda_{m,d,l}$ と固有ベクトル $\mathbf{u}_{m,d,l}$ を得る。

$$\lambda_{m,d,l} \mathbf{u}_{m,d,l} = \mathbf{S}_{m,d} \mathbf{u}_{m,d,l} \quad (5)$$

認識には固有値の大きさ上位 $L' (< L)$ 個に対応する固有ベクトルの集合を部分空間とする。作成した固有ベクトルの例を図 10 に示す。

2.5.2 認識段階

認識は道路平面画像から切り出された入力画像と部分空間との照合によって行う。切り出した位置によって自車からの距離が概算できるため、自車からの距離が最も近い距離 d' に対する部分空間と照合する。まず、学習段階と同様に入力画像を照合対象の路面標示と同じ大きさにしたあと、ラスタスキャン方式で正規ベクトル化したものを \mathbf{y} とする。そして、以下の式を満たす路面標示カテゴリ \hat{m} を認識結果とする。



(a) ‘直進および左折’ (b) ‘横断歩道予告’

図 10: 固有ベクトルの例 (上位 5 次元)

$$\hat{m} = \arg \max_m \sum_{l=1}^L (\mathbf{u}_{m,d',l}^T \mathbf{y})^2 \quad (6)$$

ここで $\mathbf{u}_{m,d',l}$ はクラス m の距離 d' における l 番目の固有ベクトルを表す。

3. 実験

前節で述べた提案手法の有効性を示すため、実際の走行中に得られた車載カメラ画像中の路面標示に対する認識実験を行った。

3.1 実験条件

実験に用いた車載カメラの仕様を表 2 に、ジャイロセンサの仕様を表 3 に示す。

認識対象として、図 11 で示す 12 カテゴリの路面標示を想定した。これらの路面標示の原画像は道路交通法・道路法によって定められている規格に沿ったものを利用した。学習段階では、これらの各カテゴリを自車から距離 10–40 [m] ($=d$) において、2 [m] おきに 500 [枚] ずつ生成し、部分空間を作成した。生成に用いたパラメータのうち、定数を表 4、正規分布をとるものを表 5 に示す。設定した生成パラメータのうち、車両の運動に関するものは、直線区間における実際の走行中に得られた車両の姿勢・速度に関する統計情報を用いた。その他の生成パラメータについては、予備実験によって決定した。

認識段階では、入力された車載カメラ画像を道路平面画像へと射影変換したのち、周辺に比べ高い輝度を持つ領域を抽出した上で、手動で切り出した。抽出の際の輝度に対するしきい値の決定に関しては、鈴木らの手法 [12] を利用した。この処理によって得られた路面標示 1,000 枚を認識に用いた。切り出した路面標示の例を図 12 に示す。

以上の条件を用いて実験を行い、路面標示の認識率によって提案手法を評価した。

また、本実験では比較手法として路面標示の原画像と直接重ね合わせることによって照合する正規化相関による単純手法を用いた。その際、ジャイロ補正の効果を示すため、補正の有無による認識率の変化を評価した。ジャイロ補正なしの場合は、ジャイロから得られる姿勢情報を用いずに常に一定の射影変換行列を用いた。このとき、 M_0 は表 1 の生成パラメータのうち、 $(d, l, h, \theta, \phi, \psi) = (0, 0, -0.2, 1.6, 0, 0, 0)$ として求めた。

表 2: 車載カメラの仕様

機種	Point Grey Research 社 FLEA VGA mono	
画角 (η)	36	[°]
解像度 ($W \times H$)	640 × 480	[pixels]
フレームレート	30	[fps]
設置位置 (l, h)	ルームミラー左側 0.2	[m]
	高さ 1.6	[m]

表 3: ジャイロセンサの仕様

機種	Crossbow Tech. 社 AHRS400CC-100	
精度 (姿勢)	± 0.5	[°]
分解能 (姿勢)	0.1	[°]
精度 (角速度)	± 0.05	[°/s]
分解能 (角速度)	0.025	[°/s]
設置位置	車両中央 (運転席と助手席の間)	

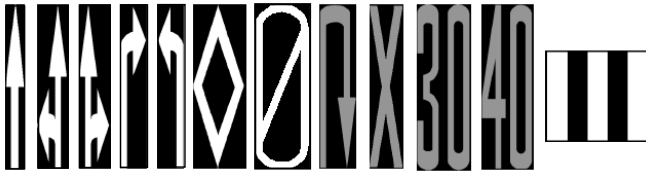


図 11: 認識対象クラス

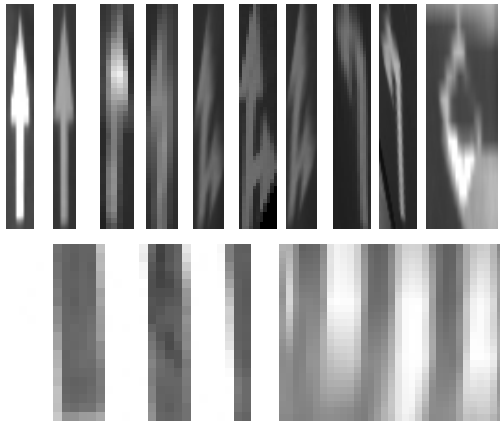


図 12: 認識対象とした路面標示の例

3.2 実験結果

表 6 に提案手法, および, 各比較手法の認識率を示す. また, ジャイロ補正ありの場合における距離ごとの路面標示の認識結果を図 13 に示す. これらの表において, 自動車からの距離は 5 [m] 単位で測定する.

3.3 考察

表 6 から提案手法が正規化相関を用いた単純手法に比べて認識率が向上した. これによって, 提案手法で生成した路面標示の学習画像が含む見えの変動が現実在即しているため, 提案手法の有効性を示せた. また, 同じ正規化相関による結果においてもジャイロ補正を行うことによって認識率が向上していることから, ジャイロセンサから得られる姿勢情報を用いて射影変換をすることの

表 4: 生成パラメータの分布 (定数)

パラメータ	記号	値
路面標示までの距離	d	10, 12, 14, ..., 40 [m]
散乱円半径	r	1.0 [pixel]
露出時間	T	1/30 [s]
露出時間中の枚数	F	3 [枚]

表 5: 生成パラメータの分布 (正規分布)

パラメータ	記号	平均	標準偏差
車線中心からのずれ	l	-0.2 [m]	3.0 [m]
路面からの高さ	h	1.6 [m]	0.01 [m]
姿勢	θ	0.0 [°]	3.03 [°]
	ϕ	0.0 [°]	0.64 [°]
	ψ	0.0 [°]	0.57 [°]
ジャイロの計測誤差	ε_θ	0.0 [°]	0.1 [°]
	ε_ϕ	0.0 [°]	0.1 [°]
	ε_ψ	0.0 [°]	0.1 [°]
位置の変化	Δd	5.24 [m/s]	3.86 [m/s]
	Δh	0.0 [m/s]	0.01 [m/s]
	Δl	0.0 [m/s]	0.1 [m/s]
姿勢の変化	$\Delta \theta$	0.69 [°/s]	1.36 [°/s]
	$\Delta \phi$	0.30 [°/s]	0.38 [°/s]
	$\Delta \psi$	0.30 [°/s]	0.29 [°/s]
切り出し誤差	Δx	0.0 [pixel]	1.0 [pixel]
	Δy	0.0 [pixel]	1.0 [pixel]
	Δs_x	0.0 [pixel]	1.0 [pixel]
	Δs_y	0.0 [pixel]	1.0 [pixel]

表 6: 実験結果

	提案手法	正規化相関 (ジャイロ補正あり)	正規化相関 (ジャイロ補正なし)
認識率	95.7 %	92.2 %	85.7 %

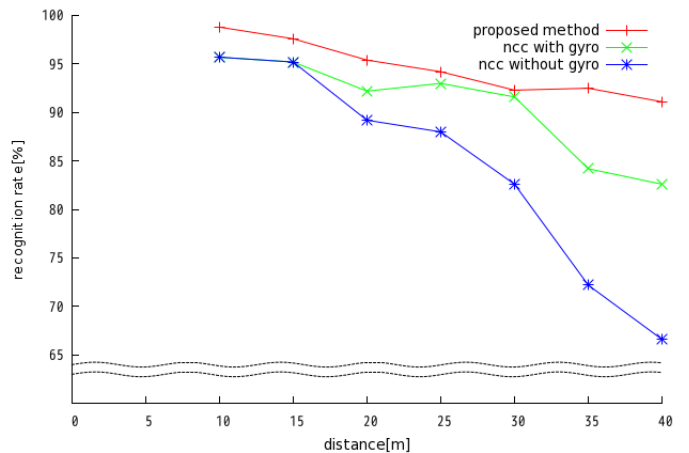
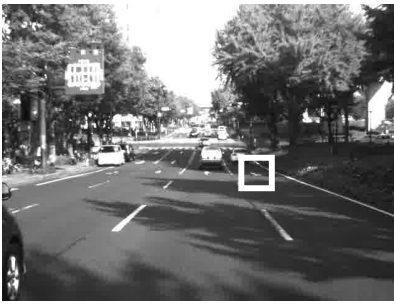


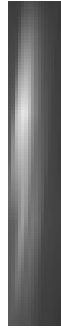
図 13: 距離ごとの認識結果

有効性を示せた.

次に, 図 13 からいずれの距離においても提案手法が正規化相関による手法に比べ, 認識率が向上していることが分かった. 特に, 距離が遠い場合でも提案手法は認識率の低下が緩やかであった. この結果は, 実際の交通



車載カメラ画像



切り出した路面標示

図 14: 誤認識の例 (自車から遠い場合)

環境においては有用となる。また、本研究で用いた車載カメラでは自車から 40 [m] 以上離れている路面標示に対する認識率が低下することから、約 40 [m] が正確に認識できる限界だと考えられる。これは、認識に必要な解像度が十分でないことが原因であると考えられる。

誤認識の主な原因としては図 14 に示すような路面標示が自車から遠い距離にある場合の低解像度化が挙げられる。また、路面標示が車載カメラの光軸中心からずれるほど形状の歪みが大きくなり誤認識の原因となる。さらに路面標示が持つ欠け・かすれ、前方車両による遮蔽や強い影が存在する場合、カーブ・坂道などの複雑な道路形状の場合にも同様に認識が困難となる。

4. 結 論

本稿では、見えの変動に対して頑健な路面標示の認識手法を提案した。提案手法は、ジャイロセンサから得られる姿勢情報を用いて車載カメラ画像を道路平面画像に安定した射影変換を行う。また、路面標示に対する車両の位置や姿勢の変化、カメラの内部特性などによって生じる見えの変動に対して、生成型学習法を適用するものである。このとき、現実の見えの変動を生成する生成パラメータ分布を設定するために、実際に走行することによって得られた車両の姿勢・速度に関する統計情報を利用した。実際の車載カメラ画像を対象とした実験の結果、自車から 40 [m] 以内の路面標示に対して平均 95.7% と高い認識率を得ることができた。また、自車からの距離が 40[m] 程度離れた路面標示に対しても、90% 以上の認識率を得ることができた。これらの結果から、提案手法の有効性を示すことができた。

しかし、路面標示が欠け・かすれを含む場合や前方車両などによる遮蔽や強い影が発生した場合に認識が困難となったため、これを今後の課題とする。また、本稿では道路が平面、かつ、走行する道路が直線であることを仮定したが、カーブ・坂道などの様々な道路形状への対応も今後の課題として挙げられる。

謝 辞

日頃より熱心に御討論頂く名古屋大学村瀬研究室諸氏

に深く感謝する。本研究を進めるにあたり貴重なアドバイスを、データを提供して頂いた(株)豊田中央研究所に感謝する。本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金による。本研究では画像処理に MIST ライブラリ (<http://mist.suenaga.m.is.nagoya-u.ac.jp/>)を使用した。

文 献

- [1] トヨタ自動車株式会社, “ナビ・ブレーキアシスト”, http://www.toyota.co.jp/jp/tech/safety/technologies/active/navi_brake.html
- [2] 中森 卓馬, 石川 直人, 中島 真人, “動画像処理による車両前方監視システム”, 信学技報, ITS2001-51, Jan. 2002.
- [3] 野口 卓, 奥富 正敏, “ステレオ画像からの道路平面に対する射影変換行列の導出”, 情処学技報, CVIM108-4, Nov. 1997.
- [4] Marcos Nieto, Luis Salgado, Fernando Jaureguizar, Julian Cabrera, “Stabilization of Inverse Perspective Mapping Images Based on Robust Vanishing Point Estimation”, Proc. 2007 IEEE Intelligent Vehicles Sympo., pp.315-320, Istanbul, Turkey, Jun. 2007.
- [5] Yunchong Li, Kezhong He, and Peifa Jia, “Road Markers Recognition Based on Shape Information”, Proc. 2007 IEEE Intelligent Vehicles Sympo., pp.117-122, Istanbul, Turkey, Jun. 2007
- [6] 三宅 智彌, 三矢 武法, 船橋 典克, 長坂 保典, 鈴村 宣夫, “道路上の標示認識と標示までの距離推定”, 信学技報, PRMU99-98, Feb. 1999.
- [7] Hiroyuki Ishida, Tomokazu Takahashi, Ichiro Ide, Yoshito Mekada, Hiroshi Murase, “Identification of Degraded Traffic Sign Symbols by a Generative Learning Method”, Proc. Int. Conf. on Pattern Recognition 2006, Vol.1, pp.531-534, Hongkong, Aug. 2006.
- [8] Hiroyuki Ishida, Tomokazu Takahashi, Ichiro Ide, Yoshito Mekada, Hiroshi Murase, “Generation of Training Data by Degradation Models for Traffic Sign Symbol Recognition”, IEICE Trans., Vol.J90-E, No.8, pp.1134-1141, Aug. 2007
- [9] 金谷 健一, “画像理解-3次元認識の数理-”, 森北出版, 1990
- [10] S. Watanabe, N. Pakvasa, “Subspace Method of Pattern Recognition”, Proc. 1st Int. Joint Conf. on Pattern Recognition, pp.25-32, Washington D.C., Oct. 1973
- [11] Bunyo Okumura, Masayuki Kanbara, Naokazu Yokoya, “Augmented Reality Based on Estimation of Defocusing and Motion Blurring from Captured Images”, Proc. IEEE/ACM Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2006), pp.97-106, Santa Barbara, USA, Oct. 2002.
- [12] 鈴木 智久, 小平 直朗, 水谷 博之, 中井 宏章, 篠原 靖雄, “明るさの連続的变化と不連続的变化が共存する画像の認識に適した二値化方式”, 信学技報, MI2007-6, pp.29-34, May 2007.