

## 色変動を考慮した生成型学習法を用いたカスケード型標識検出器

道満 恵介<sup>†</sup> 出口 大輔<sup>†</sup> 高橋 友和<sup>††</sup> 目加田慶人<sup>†††</sup> 井手 一郎<sup>†</sup> 村瀬 洋<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 名古屋大学 大学院情報科学研究科 〒 464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町

<sup>††</sup> 岐阜聖徳学園大学 経済情報学部 〒 500-8288 岐阜県岐阜市中鶉 1-38

<sup>†††</sup> 中京大学 情報理工学部 〒 470-0393 愛知県豊田市海津町床立 101

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

あらまし 自動車の安全運転支援を目的とした道路標識検出においては、高速性や環境変化に対するロバスト性が求められる。それらの条件を兼ね備えた手法として、Violaらが提案したカスケード型識別器がある。本研究では、色変動を考慮した生成型学習法を用いたカスケード型識別器による高性能かつ低設計コストな標識検出器を提案する。提案手法により、識別器作成における学習用画像の収集コストが大幅に低減されるとともに、道路標識の色特徴を有効に利用した標識検出が期待できる。実験により、退色、反射または影を考慮した生成型学習法を用いたカスケード型識別器の性能を評価し、その有効性を確認した。

キーワード 生成型学習法, カスケード型識別器, 色変動, 標識検出, 車載カメラ

## Cascaded Traffic Sign Detector Using Generative Learning Considering Color Variance

Keisuke DOMAN<sup>†</sup>, Daisuke DEGUCHI<sup>†</sup>, Tomokazu TAKAHASHI<sup>††</sup>,

Yoshito MEKADA<sup>†††</sup>, Ichiro IDE<sup>†</sup>, and Hiroshi MURASE<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Information Science, Nagoya University

Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi, 464-8601 Japan

<sup>††</sup> Faculty of Economics and Information, Gifu Shotoku Gakuen University

1-38 Nakauzura, Gifu, Gifu, 500-8288 Japan

<sup>†††</sup> School of Information Science & Technology, Chukyo University

101 Tokodachi, Kaizu-cho, Toyota, Aichi, 470-0393 Japan

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

**Abstract** A robust and real-time detection of traffic signs is important to support safe-driving. Viola et al. have proposed a robust and extremely rapid object detection method based on cascaded classifiers. In this paper, we propose a boosted cascade method for traffic sign detection using a generative learning technique considering color variance. The advantage of our method is that it greatly reduces the cost of collecting a massive number of traffic sign images for learning. Furthermore, by considering the use of color models such as discoloration, reflection and shadow, in the learning process, we can obtain several effective color features and then use them for detecting traffic signs. Experimental results of detecting traffic signs showed the effectiveness of our method.

**Key words** Generative Learning Method, Cascaded Classifiers, Color Variance, Sign Detection, Car-mounted Camera

### 1. はじめに

近年、自動車の安全運転支援技術に対する需要が高まっている。本研究ではその一環として、車載カメラ映像からの道路標識認識に注目する。高精度な道路標識認識が実現できれば、速

度超過や進路制限の警告といった安全運転支援のための様々な応用が考えられる。

道路標識認識において重要となるのは、標識の検出処理である。標識検出の手法はこれまでも数多く研究されており、標識の色特徴を利用するもの [1] [2] と形状特徴を利用するもの [3] [4]

がある．これに対して，本研究では Viola らによって提案されたカスケード型識別器 [5] を利用する（以降，単に「カスケード型識別器」と呼ぶ）．カスケード型識別器は，Haar-like 特徴を用いた AdaBoost ベースの識別器であり，Haar-like 特徴により局所エッジ特徴を評価するため，照明変動に対してロバストかつ高速な物体検出が可能である．ただし，安定して高い検出性能を発揮するためには，実際に起こり得る様々な変動パターンをバランスよく含んだ学習用画像セットを用いて識別器を作成する必要がある．通常，学習用画像は手作業により収集され，学習に適した標識画像を大量に収集するのは困難である．

これに関して，我々は生成型学習法を用いてカスケード型識別器を作成する手法 [6] を提案している．生成型学習とは，対象をカメラで撮影する際に起こり得る種々の画像変化をモデル化し，それら生成モデルを用いて原画像を基に生成された変形画像を用いて学習を行う手法である．ただし，これまで提案してきた道路標識検出のための生成型学習法では，光学ぼけや幾何学的変動は考慮されているが，道路標識における色変動に関しては考慮されていない．道路標識を撮影した際に得られる撮影画像に含まれる様々な色変動に対しても安定した検出を行うには，色変動を適切に含んだ標識画像を用いて識別器の学習を行う必要がある．それにより，標識検出において色特徴を有効に利用することもできる．

そこで本報告では，色変動を考慮した生成型学習法を用いたカスケード型識別器による標識検出手法を提案する．以降，2 節では道路標識撮影時に撮影画像上に現れる色変動の要因，およびそれが及ぼす色変化について述べ，3 節で生成型学習法を用いたカスケード型識別器による標識検出手法について述べる．続く 4 節では提案手法の詳細を述べ，5 節では有効性を確認するための評価実験の結果と考察を述べる．最後に 6 節でまとめる．

## 2. 色変動要因とそれが標識画像に及ぼす変化

道路標識はさまざまな環境下に設置されており，退色や汚れ，さび等の度合いにより標識の劣化具合は様々である．また，同一の標識を撮影した画像であっても，天候や時間帯，反射や影の有無，カメラ特性等により撮影される画像は大きく変化する．実際に，円形規制標識を撮影して得られた各標識画像の赤色，青色，白色の 3 領域から 2 画素ずつランダムに抽出し，各画素について色相  $H$  と彩度  $S$  を調べたところ，図 1 のような分布が得られた．なお，ここで用いた標識画像は，同一カメラで同日の同時時間帯に撮影したものである．そのため，同図における色変動は撮影対象の状態に起因しているものと考えられる．本報告では，一般的によく観測され，かつ撮影対象に大きな変化を及ぼす要因として退色や照明の反射または影に注目し，それぞれが撮影画像に及ぼす変化について詳しく述べる．

### 2.1 退色による色変化

円形の規制標識に生じた退色による色変化の例を図 2 に示す．この図で，まず円形規制標識の最大の視覚的特徴である赤い円周部分に注目すると，(a)，(b)，(c) と退色の度合いによって大きな色の変化が確認できる．特に (c) に至っては円周部分が完

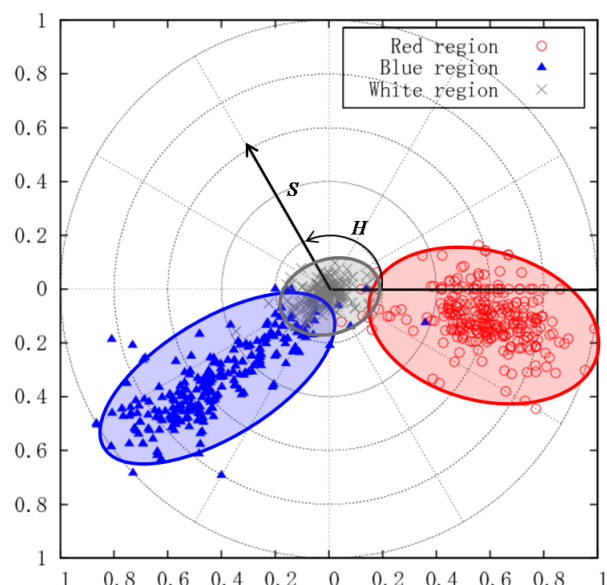


図 1 実際の標識画像における色相  $H$  と彩度  $S$  の分布



図 2 退色による色変化の例

全に色落ちしている．一方，同図における各標識の青いシンボル部分に注目すると，赤い円周部分と比較して色の変化が小さいことが分かる．赤い円周部分と青いシンボル部分とで，このような差異が現れるのは，色によって退色への耐性が異なるためである．退色は，標識表面の塗料中の色素が空気や光のエネルギーにより分解されることで発生する．特に，光の成分に含まれる紫外線のエネルギーは高く，退色の最大の原因となる．そのため，紫外線を比較的吸収しやすい赤色の物質は退色しやすく，逆に紫外線を吸収しにくい青色の物質は退色しにくいという傾向がある．そのことは，図 1 において，各色領域における画素の色分布が異なる形になっていることから分かる．

### 2.2 反射または影による色変化

反射または影による色変化の例を図 3 に示す．同図 (a)，(b) では道路標識表面で太陽光が反射して撮影画像上で標識全体の明度が高くなっていることが分かる．(b) のような鏡面反射成分が強く観測される状況は希であるが，単一フレームでシンボル領域を認識することは難しい状態である．また，(c) においては，道路標識の部分に影ができ，撮影画像が全体的に暗くなっている．

道路標識表面における反射に関して，我が国では夜間における視認性を配慮し，原則として道路標識に反射材を用いることが定められている [8]．それゆえ，現在設置されている多くの道路標識には反射材が使用されており，照明条件等によって標識

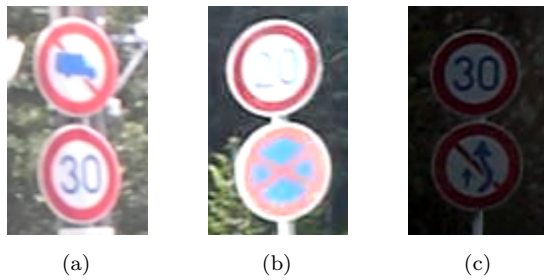


図 3 反射または影による色変化の例

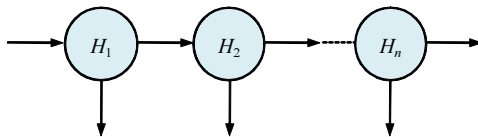


図 4 カスケード型識別器

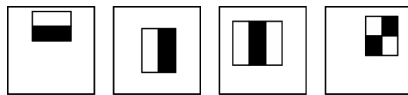


図 5 Haar-like 特徴

表面の色が大きく変化する [9]。ただし、これらの影響が強く観測されるのは主に夜間であり、昼間における反射による影響は明度のみの変化とみなせる。

### 3. 生成型学習法を用いたカスケード型標識検出器

#### 3.1 カスケード型識別器

本研究では、標識検出器としてカスケード型識別器 [5] を用いる。カスケード型識別器は、図 4 に示すように、複数の識別器がカスケード状に接続されたものであり、各識別器は AdaBoost アルゴリズムによる弱識別器の組み合わせで構成される。この識別器の特徴としては、単純な特徴の利用による高速性と環境変化に対するロバスト性を兼ね備えていることが挙げられる。これを用いた手法では、通常、非検出対象と判定されるべきものの多くがカスケードの初期の段で棄却されるため、単一の識別器を利用するよりも効率の良い検出処理が可能となる。カスケード型識別器は顔検出において広く用いられているが、道路標識検出への適用例 [10] もある。

カスケード型識別器を構成する識別器は、それぞれ図 5 に示すような Haar-like 特徴を用いた弱識別器の組み合わせで構成される。各特徴はいずれも、検出対象か非検出対象かを判定するために、白矩形領域における平均輝度値と黒矩形領域における平均輝度値の差で表される。この差は、Integral Image の利用により高速演算が可能である [5]。カスケード型識別器を構成する各識別器においては、これら各弱識別器の判定結果を基に検出対象であるか非検出対象であるかを決定する。なお、Haar-like 特徴は、グレースケール空間におけるエッジ特徴の評価に利用されることが一般的である。Bahlmann らは、これを複数の色空間上で適用し、エッジ特徴と色特徴を同時に利用する手法 [7] を提案している。

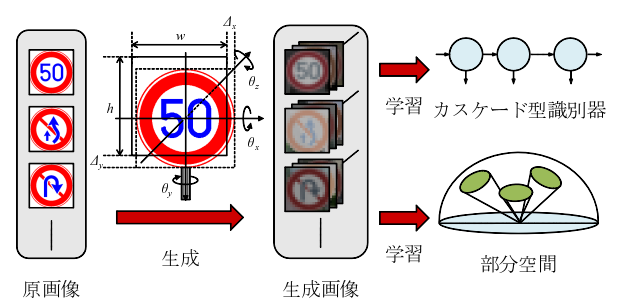


図 6 学習段階における処理の流れ

#### 3.2 生成型学習法

カスケード型識別器を用いる際の問題点としては、十分な検出性能を得るために実際に起こり得る様々な変動パターンを含む学習用画像を大量に用意しなければならないことが挙げられる。検出対象の画像データベースが利用できない場合には、手作業により学習用画像を収集する必要がある。本研究で対象とする道路標識に関しては、実際に起こり得る様々な変動が加わった標識画像を大量に収集するのは容易ではない。

この問題を解決するアプローチの一つとして生成型学習法を用いた手法がある。生成型学習法とは、検出対象の状態や撮影環境の変化によって実際に起こり得る種々の画像変化をモデル化し、各種モデルに従って変動を加えた画像を大量に生成し、識別器の学習に用いる手法である。カメラで撮影した画像を想定すると、撮影画像における検出対象物体の回転、伸縮、ずれ、光学ぼけ、退色、反射または影等の変化要因が考えられる。これら各種変化に対するモデルを定義し、各々に適切なパラメータを与えることで、実際に撮影され得る画像をシミュレートすることが可能となる。これにより、生成の元となる原画像を 1 枚（または数枚）用意するだけで、大量の学習用画像を得ることができる。その結果、学習用画像の収集コストが大幅に低減され、学習処理の効率化が図れる。

### 4. 提案手法

#### 4.1 概要

提案手法では、カスケード型識別器により、例えば各速度標識や追い越し禁止、転回禁止といった複数カテゴリの標識をまとめて検出し、部分空間法により検出結果のカテゴリを認識する。カスケード型識別器と部分空間の作成には色変動を考慮した生成型学習法を適用する。これにより、識別器の学習に用いる標識画像の収集コストを大幅に削減されるとともに、撮影画像に含まれる様々な色変動に対してもロバストな検出が可能となる。以降、本手法における学習段階と検出・認識段階について順に述べる。

#### 4.2 学習段階

学習段階の処理の流れを図 6 に示す。学習段階では、検出に用いるカスケード型識別器と認識に用いる部分空間の作成を行う。カスケード型識別器については、検出対象とする複数カテゴリの標識をまとめて識別器の学習に利用する。部分空間については、対象とする標識のカテゴリ毎に作成する。また、カス





(a) 分割前 (b) 赤色領域 (c) 青色領域 (d) 白色領域

図 7 最高速度制限 50 の標識における領域分割例

ケード型識別器を構成する各識別器の学習を行う際には、次に示す 7 つの色空間上で Haar-like 特徴を評価し、AdaBoost によって最適な特徴を選択する。

- $R, G, B$
- $r = R/S, g = G/S, b = B/S$
- $Grayscale = 0.2989R + 0.5866G + 0.1145B$

ここで  $S = R + G + B$  である。

標識画像を生成するにあたり、考慮する変動要因を撮影対象上で生じる色の变化と撮影画像上で生じる形状の変化の 2 つに分ける。前者として退色、反射・影の計 2 つを、後者として、回転、ずれ、伸縮、ぼけ、背景の計 5 つをそれぞれ考慮する。なお、前者に関しては、色相、彩度、明度を独立に制御可能な HSV 表色系を利用する。以下に、それぞれの変動要因とそのシミュレート方法を示す。

撮影対象上で生じる色の变化

- 退色

撮影対象が劣化するにつれて退色が進行する。退色をシミュレートするには、あらかじめ退色前の色を基準色としてそこから色変化を加える。なお本研究では、色によって退色のしやすさが異なることを考慮し、あらかじめ原画像に対して色による領域分割を行い、各領域で独立に退色させる。また、各領域内の色は一様であると仮定し、各領域における退色後の画素値  $(h_i, s_i, v_i)$  を決定する。ここで  $i \in X$  であり、 $X$  は分割後の領域集合である。例えば、最高速度制限 50 の円形規制標識の場合は、図 7 のように、青色、赤色、白色の 3 つの領域に分割される。

- 反射・影

撮影対象と光源との位置関係、または撮影対象が存在する環境によって撮影画像上の明度が変化する。例えば、天候や時間帯、反射や影の有無等により明度変化が生じる。ただし、本研究では撮影画像上で一様に明度が変化している場合を想定し、部分的な影や鏡面反射の影響は考慮しない。また、夕焼け等の照明変化に伴う色相や彩度の変化は無視する。反射・影をシミュレートするには、明度の変化量  $v$  を画像内の全画素に加える。

撮影画像上で生じる形状の変化

- 回転

撮影対象とカメラとの位置関係により撮影画像に回転が生じる。これをシミュレートするには、標識画像の中心を原点とした 3 次元空間における各軸周りに  $\theta_x, \theta_y, \theta_z$  度の回転を加える。

- ずれ

撮影時に、検出窓内での位置ずれや標本化の過程により 1 ピクセル未満のずれが起こる。これをシミュレートするには、識

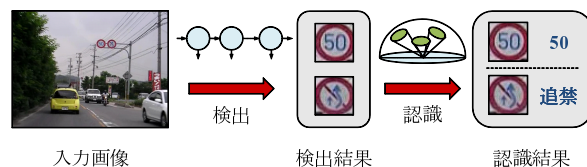


図 8 検出・認識段階における処理の流れ

別器への入力サイズを  $N_b \times N_b$ 、原画像のサイズを  $N_o \times N_o$  の場合、

$$|\Delta x| < \frac{N_o}{N_b} \quad (1)$$

の範囲で画像を水平方向、垂直方向それぞれ独立に平行移動させる。

- 伸縮

撮影時に用いるカメラの特性によって、撮影画像の縦横比が変化する。これをシミュレートするには、入力画像の水平方向、垂直方向それぞれを  $r_w$  倍、 $r_h$  倍に拡大する。

- ぼけ

撮影に使用したカメラの焦点が標識に合っていない場合、撮影画像に光学ぼけが生じる。これをシミュレートするには、入力画像とガウス関数との畳み込みを計算する。

- 背景

撮影画像に含まれる標識の背景部分には、空や木、建築物等の風景が写り込む。これをシミュレートするには、撮影画像中から数種類の背景パターンを抽出して入力画像と合成する。

以上、7 つの生成モデルによりシミュレートされた生成画像をカスケード型識別器と部分空間の作成に利用する。

### 4.3 検出・認識段階

検出・認識段階の処理の流れを図 8 に示す。検出段階ではカスケード型識別器を用いて、位置とスケールを変えながら入力画像を走査する。これにより、入力画像に含まれる様々な位置、サイズの検出対象とするカテゴリの標識をまとめて検出する。その後、検出結果に対して部分空間法によるカテゴリ認識を行う。

## 5. 実験

### 5.1 実験条件

提案手法の有効性を調査するため、生成型学習法にて色変動を考慮する場合としない場合で検出性能を比較した。評価用の映像として、表 1 に示す仕様のカメラを車に取り付けて昼間に市街地や郊外を撮影したものをを用いた。そこから  $15 \times 15$  pixels ~  $45 \times 45$  pixels までの大きさの対象標識が 1 つ以上含まれる計 2,874 フレームを抽出し、評価の対象とした。また、対象とする標識は、最高速度制限 (30, 40, 50)、追越し禁止、転回禁止の 5 カテゴリとした。評価用素材には、対象標識が合計 3,841 個含まれていた。

### 5.2 実験方法

まず、画像変化が加わっていない理想的な状態の標識画像を各カテゴリ 1 枚ずつ用意し、それらを生成時の原画像として利用した。次に、4.2 節で挙げた計 7 つの生成モデルを用いて標

表 1 車載カメラの仕様

撮影機器	SANYO Xacti DMX-HD2
解像度	640 × 480 pixels
フレームレート	30 fps



図 9 生成に用いた各カテゴリの原画像

識画像を生成し、それらを学習用標識画像としてカスケード型識別器の学習を行った（提案手法）。また、それら 7 つの生成モデルのうち、撮影対象上で生じる色変動モデル 2 つを除いた計 5 つの生成モデルを用いて標識画像を生成し、同様にカスケード型識別器の学習を行った（従来手法）。なお、各識別器の学習に用いる非標識画像は、標識を含まない情景画像からランダムに抽出して用意した。また、従来手法と提案手法ともに、*Grayscale* のみを利用した場合（1 色）と、 $R, G, B, r, g, b, Grayscale$  を利用した場合（7 色）で 2 種類の実験を行った。以上の方法により作成された計 4 つのカスケード型識別器の性能を比較した。

本実験で原画像として用いた標識画像を図 9 に示す。標識画像の生成に用いた各パラメータは正規分布に従うと仮定し、表 2、表 3 に示す平均と分散から正規乱数により発生させた。退色モデルについては、各原画像を赤色領域と青色領域、白色領域に分割し、赤色領域と青色領域のみに退色を適用した。背景モデルについては、合成背景パターンとして 25 種類の部分画像を用意し、これらからランダムに選択した。

### 5.3 実験結果

対象標識に対して 1 つでも正しい検出結果が存在すれば正解として算出した適合率・再現率は表 4 の通りである。これから、使用する色空間にかかわらず、従来手法よりも提案手法の方が性能が向上していることが分かる。また、色変動を考慮する提案手法においては、1 色を用いた場合よりも 7 色を用いた場合の方が性能が高かった。なお、認識精度に関しては、提案手法では 0.69、従来手法では 0.65 であり、色変動考慮による大きな差異はなかった。

表 2 撮影対象上で生じる色変動モデルで使用した生成パラメータ

	退色						反射・影
	赤色領域			青色領域			
	$h_r$	$s_r$	$v_r$	$h_b$	$s_b$	$v_b$	
平均	7.0	0.45	0.6	210.0	0.32	0.5	0.53
分散	67.0	0.008	0.0006	55.0	0.0055	0.0005	0.0074

表 3 撮影画像上で生じる形状変動モデルで使用した生成パラメータ

	回転			ずれ		伸縮		ぼけ
	$\theta_x$	$\theta_y$	$\theta_z$	$\Delta x$	$\Delta y$	$r_w$	$r_h$	
平均	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	2.6
分散	10.5	10.5	10.5	3.0	3.0	0.001	0.001	7.9



(a) 提案手法（7 色）



(b) 従来手法（7 色）

図 10 検出結果の例

### 5.4 考察

#### 5.4.1 色変動考慮の効果

実験の結果、提案手法の方が高い検出精度が得られた。これは、色変動を考慮した生成型学習法により、作成された検出器の色変動に対するロバスト性が向上したからであると考えられる。実際に起こり得る様々な色変動を含んだ標識画像を用いて学習を行うことで、撮影画像に含まれる色変動に対しても安定した検出が可能となる。

また、図 11 を見ると、色変動モデルを使用しない従来手法における生成画像 (a) と評価画像 (c) とでは、色が大きく異なっていることが確認できる。特に標識の円周部分の色に注目すると、同図 (a) では鮮やかであるのに対して、(c) では黒く濁っている。同図 (a) のような標識画像から色特徴を学習しても、そ

表 4 色変動考慮の有無による検出性能の比較

	従来手法		提案手法	
	1 色	7 色	1 色	7 色
色空間	1 色	7 色	1 色	7 色
適合率	0.68	0.01	0.75	0.89
再現率	0.15	0.00	0.82	0.81
<b>F 値</b>	0.25	0.00	<b>0.79</b>	<b>0.85</b>



(a) 生成画像 (従来) (b) 生成画像 (提案) (c) 評価画像  
図 11 生成画像と評価画像との比較

の色特徴を用いて (c) の標識画像を正しく識別するのが難しいということは直感的に理解できる。実験結果において、色変動を考慮した場合には 7 つの色空間を利用することで検出精度が向上しているが、逆に色変動を考慮しなかった場合には 7 つの色空間を利用すると検出精度が大きく低下しているのはそのためである。

また、認識性能に関しては、色変動考慮の有無による大きな差異はなかった。これは、本実験で対象とした円形の規制標識全てにおいてシンボル領域が単色の青色で統一されているため、色特徴利用による効果が現れにくかったからであると考えられる。

#### 5.4.2 色変動のシミュレート性能

生成型学習法における色変動のシミュレート性能は、考慮する変動要因とモデル化の方法、生成パラメータの決定方法の 3 要素により決まる。以下、各要素について、色変動のシミュレート性能を更に向上させるための方法を述べる。

##### ● 考慮する色変動要因

現状では色変動要因として退色と反射に注目しているが、それら以外にも色を変化させる要因はいくつか考えられる。例えば、汚れやさび、カメラ特性等が挙げられる。中でも、カメラ特性に関しては、カメラの露光量やホワイトバランス等により撮影画像の全体的な色分布が大きく変化する。そのため、このようなカメラ特性による色の変動を考慮することで、色変動のシミュレート性能を向上させることができると考えられる。

##### ● モデル化の方法

本実験では、HSV 空間上での色変化モデルにて退色をシミュレートした。HSV 表色系は、色相、彩度、明度からなり、それぞれを独立に変化させることができる。ただし、HSV による表現方法は人の色感覚とよく一致することが知られているが、退色による色の変化表現に適しているとは限らない。そのため、より適した退色表現が可能な色空間を定義することで、色変動のシミュレート性能を向上させることができると考えられる。

##### ● 生成パラメータの決定方法

適切に変動要因が考慮され、かつ適切にモデル化できたとしても、モデルに適切なパラメータを与えなければ実際の変動を精度良くシミュレートすることはできない。本実験では、実際の撮影画像を目視で確認しながら経験的に生成パラメータを決定したが、回転やぼけに関する生成パラメータの分布を遺伝的アルゴリズムを用いて実験的に推定 [11] する手法も提案されている。色変動に関するパラメータ分布も同様な方法で実験的に推定できれば、より実際に撮影された標識画像に近い画像生成が可能になると考えられる。

## 6. むすび

本研究では、色の変動を考慮した生成型学習法を用いたカスケード型識別器による標識検出・認識手法を提案した。退色や反射、影という色の変動要因を考慮して標識画像を生成することで、より実際の入力に即した画像変化をシミュレートすることができる。その結果、生成型学習法を用いて作成されたカスケード型識別器で、エッジ特徴だけでなく色特徴も有効に利用することができる。実験により、色変動考慮の有無による検出性能の比較を行い、本手法の有効性を示した。

今後は、生成型学習法において、退色や反射、影に加えてカメラ特性の考慮、最適な色変動のモデル化方法、生成パラメータの決定方法等を検討していく。

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。本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金による。また、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] 内村圭一, 脇山慎也, 藤野麻衣子, “限定色表示を用いた円形道路標識の抽出”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J83-D-2, No.2, pp.855-858, February 2000.
- [2] 明珍甲太, 景山陽一, 西田真, “カラー情景画像における円形道路標識の認識に関する検討”, 電子情報通信学会技術研究報告, PRMU2004-262, March 2005.
- [3] 竜円琢磨, 長坂保典, 鈴村宣夫, “円形状の道路標識の認識”, 電子情報通信学会技術研究報告, EID99-143, February 2000.
- [4] 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, Vol.J77-D-2, No.7, pp.1393-1394, July 1994.
- [5] P. Viola and M. Jones, “Rapid object detection using a boosted cascade of simple features”, Proc. of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Vol.1, pp.511-518, December 2001.
- [6] 道満恵介, 高橋友和, 目加田慶人, 井手一郎, 村瀬洋, “生成型学習とカスケード型識別器による道路標識検出・認識”, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2008) 講演予稿集, pp.376-381, July 2008.
- [7] C. Bahlmann, Y. Zhu, V. Ramesh, M. Pellkofer and T. Koehler, “A system for traffic sign detection, tracking, and recognition using color, shape, and motion information”, Proc. of IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2005, pp.255-260, June 2005.
- [8] 国土交通省, “道路標識、区画線及び道路標示に関する命令 第 3 条”, <http://www.mlit.go.jp/road/sign/kijyun/kukaku/ss-kukaku-index.html>.
- [9] 山中俊夫, 石川真澄, 古川匡亮, 栗岡豊, 池田潤平, “交通標識用再帰性反射材料の照明・観測条件による色の変化”, 日本色彩学会誌, Vol.4, No.3, pp.82-83, May 1980.
- [10] R. Ach, N. Luth and A. Techmer, “Real-time detection of traffic signs on a multi-core processor”, Proc. of IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2008, pp.307-312, June 2008.
- [11] H. Ishida, T. Takahashi, I. Ide, Y. Mekada and H. Murase, “Identification of degraded traffic sign symbols by a generative learning method”, Proc. of 18th International Conference on Pattern Recognition, Vol.1, pp.531-534, August 2006.