

KL 変換に基づく固有空間法を用いた最高速度制限標識の文字認識  
 Recognition of Numbers on Speed Limit Signs  
 Utilizing an Eigen Space Method  
 Based on the KL Transform

宮田 繁春<sup>†</sup> 竹原 伸<sup>†</sup> 酒井 英樹<sup>†</sup>  
 Shigeharu Miyata Shin Takehara Hideki Sakai

### 1. はじめに

高度道路交通システム (ITS) に関する研究の一環として、自動車運転の「安全と円滑さ」を目標に AHS (Advanced cruise-assist Highway System) の研究が多く行われている [1-9]。AHS は情報収集、運転操作のサポート、完全自動運転の部門からなっている。情報収集する手段としては、前方車両や障害物を検出するためにレーダー波を用いるもの、道路標識や信号機を検出するためにカメラ映像を用いるものがある。レーダー波を用いた運転支援システムは既に多くの自動車に搭載され実用段階にある。しかし、カメラ映像を用いた運転支援システムは、高速道路でも一般道路でもまだ研究段階にある。それを実用化するためには、正確にかつ安定して車両周囲情報を運転者に与えられるように、高速に処理できること、高い精度で認識ができること、取りこぼしなく対象物を検出できること、周囲の環境変化にロバストであることが求められる。

運転時、運転者が周囲状況を知覚する場合、80-90% は視覚情報から得た情報に基づいて運転操作を行っていると言われている。調査結果によると、運転者の不注意による脇見運転、漫然運転、交差点での一時不停止などで車両同士の事故が多く発生し、その中で死亡事故に至る事故は速度の出し過ぎが主な原因となっている。従って、走行時に速度オーバーしている場合には、最高速度制限標識を自動認識して運転者に速度を順守するよう警告表示したり音声出力したりすることは運転支援システム構築の立場から大切な事柄である。

車両に対する通行禁止、速度制限等の規制標識は、外形は円形で、外縁部に赤色の環が存在するのが特徴である。これらの特徴を利用して画像内から道路標識を抽出する手法が多く提案されている [10-18, 20]。認識手法としては、テンプレートマッチングやその改良手法などを利用したものが多く提案され、遺伝的アルゴリズム [12]、ニューラルネット [13] を応用した手法、形状の特徴を利用した手法 [20] が提案されており、概ね良好な結果が得られている。しかし、未知の大きさの抽出画像をテンプレートとほぼ同一サイズの画像の大きさに変換する必要があること、回転や位置移動に対して補正を施す必要があること、そのために処理計算に膨大な時間がかかることなど、実用化に向けて実際の処理過程で生じる問題点を解決していく必要があると思われる。

一方、同じパターン認識の研究分野で、情報セキュリティ

ィーなどの観点から指紋、虹彩、音声、顔、瞳、手形などの生体情報を利用した生体認証システムが研究されている。対象者に意識させずに非接触でかつリアルタイム認証が可能な顔認識技術が次第に実用化されつつある [19]。これは、濃淡パターンを特徴とする顔パターンを利用して、実時間認識、顔の向き、表情変化、照明変化、経年変化への要求に十分対応できるように、KL 変換を適用した固有空間法を利用した手法が適用されている。KL 変換を適用した固有空間法の認識手法を同様に速度制限規制標識の速度認識に適用した場合、筆者らの知る限りではこの手法を適用した例は見当たらないが、標識の向きや標識に当たる光量による濃度パターンの変化にロバストであること、また解析時の特徴ベクトル次元数の圧縮で認識処理速度を短縮することが期待できる。

筆者らが以前に提案した道路標識認識の手法は、実用化に向け動画像を利用してリアルタイムで標識を抽出し認識できることに重点を置いたため、標識の幾何学的特徴に基づいて処理時間を短くできるように比較的単純な認識手法を提案した [20]。そのため標識に当たる光量や周囲に標識と類似色が存在する場合は誤認識してしまう場合があった。また、標識に記してある幾何図形を抽出してそれらの縦横の比率に基づいて認識するものであるため、最高速度制限標識に記してある縦横の比率が等しい数字を特定できる手法ではなかった。そこで、本論文では、死亡事故など重大な事故に至らせない重要な役目を負う最高速度制限標識に認識対象を限定して、KL 変換に基づく固有空間法を認識に適用した場合、標識に記してある規制速度を数 100ms でほぼ完全に認識できることを示す。正確かつ安定して車両周囲情報を運転者に与えられるように、処理が速いこと、取りこぼしなく検出対象物を検出できること、周囲の環境変化や標識と自動車の接近に伴う標識画像の幾何学的変形に対してロバストであることに考察の焦点を当て、静止画像に本手法を適用してその有効性を確認する。

2. では、KL 変換に基づく部分空間法の考え方を適用して標識の速度表示を認識するための処理手順を示す。3. では、道路走行時に取得した風景画像から最高速度制限標識を検出して、その標識に記してある速度表示を抽出する処理手順を示す。次に、学習サンプルとして用意した 5 種類の標識に対して部分空間法に基づき特徴ベクトルを求めておき、それと未知の入力画像から抽出された標識の特徴ベクトルとを比較することによる認識結果を示す。4. では、標識と車の接近に伴い、標識の見え方によって幾何学的に変形する標識画像へ本手法を適用した場合の認識結果を示す。5. では、本論文のまとめと残された問題点について述べる。

<sup>†</sup> 近畿大学工学部 知能機械工学科  
 School of Engineering, Hiroshima,  
 Department of Intelligent Mechanical Engineering,  
 Kinki University

## 2. KL 変換に基づく部分空間法

Karhunen-Loeve 変換 (KL 変換) は、 $M$  次元の原特徴空間を次元数が削減された  $L$  次元 ( $L < M$ ) の部分空間で表現し、その部分空間で元のパターンを表現する手法であることから、ベクトルの分布を最も良く近似する部分空間を求める方法であると考えられる。

原特徴空間から部分空間への変換行列を  $A$  とすると、原特徴空間のベクトル  $\mathbf{x}_k = (x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{kM})^T$  は部分空間のベクトル  $\mathbf{y}_k = (y_{k1}, y_{k2}, \dots, y_{kL})^T$  へ次式により変換される。

$$\mathbf{y}_k = A \mathbf{x}_k, \quad (1)$$

ただし、

$$A = (\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_L). \quad (2)$$

変換行列  $A$  の列ベクトル  $\mathbf{a}_i$  が部分空間の各軸方向の単位ベクトルを表わし、原特徴空間において  $M$  次元の互いに直交する単位ベクトルであるため、次の直交条件が成り立つ。

$$\mathbf{a}_i^T \mathbf{a}_j = \begin{cases} 1 & (i = j) \\ 0 & (i \neq j) \end{cases} \quad (3)$$

$$A^T A = I. \quad (4)$$

この直交条件を満たした上で、部分空間に射影されたベクトル  $\mathbf{y}_k$  の分散  $\sigma^2 = \text{tr}(A^T S A)$  が最大になるように変換行列  $A$  を求める。具体的には、変換行列  $A$  は、 $S$  を原特徴空間での分散・共分散行列とした場合、変換行列  $A$  を対角化すべく、 $A^T S A = \lambda A$  を満たす固有値  $\lambda$  を求め、それに対応した固有ベクトルを求めることにより得られる。部分空間に射影されたベクトル  $\mathbf{y}_k$  の分散を最大にするという条件で変換行列  $A = (\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_L)$  を求めることは、ベクトル  $\mathbf{y}_k$  が主成分を構成していることを表わしている。固有ベクトルは、原特徴空間の最大次元数に等しい  $M$  個まで求めることができる。

従って、任意のベクトル  $\mathbf{x}_k$  は、 $M$  個の固有ベクトル  $\mathbf{a}_i$  で次のように直交展開 (KL 展開) することができる。

$$\mathbf{x}_k = \sum_{i=1}^M \omega_{ki} \mathbf{a}_i + \bar{\mathbf{x}}_k, \quad (5)$$

ただし、

$$\bar{\mathbf{x}}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathbf{x}_i, \quad n \text{ はサンプル画像枚数.} \quad (6)$$

展開係数  $\omega_{ki}$  は固有ベクトルの直交性を用いて、 $\mathbf{a}_i$  と  $(\mathbf{x}_k - \bar{\mathbf{x}}_k)$  の内積により求められる。

$$\omega_{ki} = \mathbf{a}_i^T (\mathbf{x}_k - \bar{\mathbf{x}}_k), \quad (i = 1, 2, \dots, M). \quad (7)$$

$M$  個の展開係数のうち  $L$  個を用いて、原特徴空間のベクトル  $\mathbf{x}_k$  の近似値、つまり部分空間に射影したベクトル  $\mathbf{y}_k$  を求めることができる。KL 変換により効率よく元のパターンを近似する部分空間が形成されたことになる。

この KL 変換を標識認識へ適用した場合、未知の入力画像の標識に記してある制限速度表示を認識するための処理手順を示す。

まず、実際に道路に設置してある最高速度制限標識の画像を学習用サンプル画像として  $n$  種類用意する。標識画像 ( $M = m \times m$  ピクセル) の 2 次元配列濃度値を 1 次元化

したものをベクトル  $\mathbf{x}_k$  とする。 $n$  種類の全学習用サンプル標識画像に対する行列を  $X$  とする。

$$X = (\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_k, \dots, \mathbf{x}_n) = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{21} & \dots & x_{k1} & \dots & x_{n1} \\ x_{12} & x_{22} & \dots & x_{k2} & \dots & x_{n2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{1M} & x_{2M} & \dots & x_{kM} & \dots & x_{nM} \end{pmatrix}. \quad (8)$$

これを利用して次のように分散・共分散行列  $S$  を求める。

$$S = \begin{pmatrix} S_{11} & \dots & S_{1M} \\ \vdots & S_{ij} & \vdots \\ S_{M1} & \dots & S_{MM} \end{pmatrix}, \quad (9)$$

ただし、

$$S_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x_{ki} - \bar{x}_{ki})(x_{kj} - \bar{x}_{kj}). \quad (10)$$

分散・共分散行列  $S$  から固有値がほぼ 0 のものを除く  $L$  個 ( $L < M$ ) の固有値  $\lambda_i$ 、固有ベクトル  $\mathbf{a}_i$  ( $i = 1, 2, \dots, L$ ) を算出する。サンプル画像  $\mathbf{x}_k$  毎に、 $L$  個の固有ベクトル  $\mathbf{a}_i$  から  $L$  個の展開係数  $\omega_{ki}$  を求め、標識の特徴ベクトル  $\Omega_k = (\omega_{k1}, \omega_{k2}, \dots, \omega_{kL})^T$  を求める。用意した他の学習サンプル標識画像に対しても同様の手順で予め標識の特徴ベクトルを求めておく。

次に、カメラから取り込んだ任意の画像から抽出処理された未知の標識画像に対して、1 次元濃度値ベクトル  $\mathbf{x}$  を求め、それと各サンプル画像に対して求めた  $L$  個の固有ベクトル  $\mathbf{a}_i$  ( $i = 1, 2, \dots, L$ ) との内積から未知標識の特徴ベクトル  $\Omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_L)^T$  を求める。

マッチングは  $\Omega_k$  と  $\Omega$  のユークリッド距離  $d_e$  で評価し、距離  $d_e$  が最も小さい時の特徴ベクトル  $\Omega_k$  の標識を認識結果とする。

$$d_e = \|\Omega_k - \Omega\| = \sqrt{\sum_{i=1}^L (\omega_{ki} - \omega_i)^2}. \quad (11)$$

以上述べた認識のための処理手順を図 1 に示す。

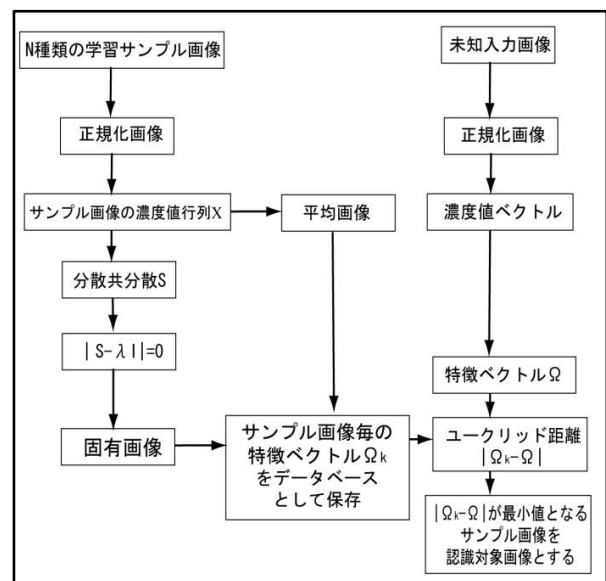


図 1 KL 変換に基づく部分空間を用いた認識の処理手順

学習サンプル画像として使用した標識は、図 2 に示す 30km/h、40km/h、50km/h、60km/h、駐車禁止の 5 種類である。駐車禁止の規制標識は、速度制限標識と誤認識しないことを確認するために速度制限標識とは異なる標識として用意した。また、標識の濃度値が互いに異なるのは、周囲状況により光の当たり具合で濃度値が同じにならないことを反映させている。学習サンプル画像は、各々 32×32 ピクセルの画像サイズに正規化しておく。図 3 は、図 2 に示す標識の青色部分を抽出し 2 値化したものである。



図 2 学習サンプル画像として採用した 4 種の最高速度制限標識と駐車禁止標識



図 3 4 種の最高速度制限標識と駐車禁止標識の 2 値化画像

32×32 ピクセルの 2 値化画像に対して求めた 1024 個の 1024 次元固有ベクトルの内、固有値が最も大きい固有ベクトルを用いて作成した固有画像を図 4 に示す。通常、固有画像は多数のサンプル濃淡画像を集積した画像データを基に作成されることから、「標準化された画像の要素」を表わすものである。本研究では、標識中の数字表示自体は平面的で濃淡がないことから、図 3 に示す 2 値化画像に対して固有画像を求めている。



図 4 4 種の最高速度制限標識と駐車禁止標識の固有画像

画像サイズを 32×32 ピクセルに正規化しているので、原特徴空間は 1024(=32×32)次元のベクトル空間となる。上述の処理に基づき得られた各学習サンプル画像に対する固有値 1024 個の内、1020 個は零、4 個は非零となっていた。4 個の固有値  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$  に対して求めた固有ベクトルを基に、(7)式から求めた各学習サンプル標識画像の特徴ベクトル  $\Omega_k = (\omega_{k1}, \omega_{k2}, \omega_{k3}, \omega_{k4})^T$  を表 1 に示す。

表 1 学習サンプル標識画像の特徴ベクトル

	$\Omega_k = (\omega_{k1}, \omega_{k2}, \omega_{k3}, \omega_{k4})^T$			
	$\omega_{k1}$	$\omega_{k2}$	$\omega_{k3}$	$\omega_{k4}$
30km/h	-3.95	0.73	-3.86	0.51
40km/h	-3.49	-4.77	0.71	-0.65
50km/h	-3.23	2.70	1.27	-2.83
60km/h	-3.17	1.38	2.04	2.97
駐車禁止	13.8	-0.04	-0.15	0.001

原画像が持つ情報の内、各固有値が担っている割合は、寄与率  $\lambda_i/\lambda_T$  ( $\lambda_i$ : 各固有値、 $\lambda_T$ : 固有値の総和) で表わされる。また、累積寄与率  $\sum_{i=0}^L \lambda_i/\lambda_T$  は、限られた固有値だけで画像全体の情報をどの程度忠実に再現できるかを示している。図 5 に寄与率と累積寄与率を示す。累積寄与率の変化から、固有値の大きい順に画像の再構成に利用していくと、画像が次第に再現されていく様子が分かる。寄与率の変化から、今回使用した画像に対して、最大の固有値  $\lambda_1$  が画像の再構成に対して 80% 寄与していることが分かる。

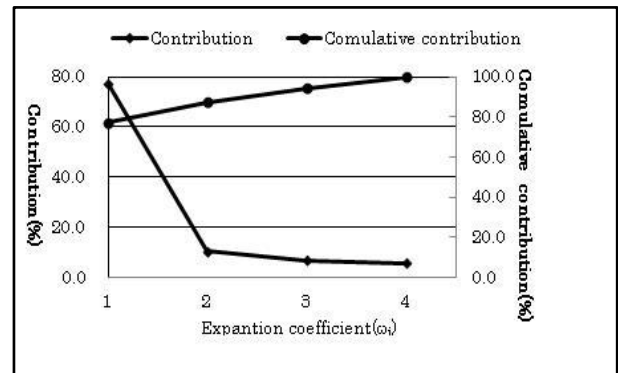


図 5 固有値の寄与率と累積寄与率

学習サンプル標識画像の特徴ベクトル  $\Omega_k = (\omega_{k1}, \omega_{k2}, \omega_{k3}, \omega_{k4})^T$  と固有ベクトル  $\mathbf{a}_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 1024$ ) を用いて (5) 式により画像は再構成される。表 1 に示す展開係数  $\omega_{ki}$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) の個数を 1 個ずつ増やした場合の再構成画像を図 6 に示す。展開係数を上げていくに従って元の画像に近づいていくことが分かる。



6(a)  $\omega_{k1}$  を使った場合



6(b) ( $\omega_{k1} + \omega_{k2}$ ) を使った場合



6(c) ( $\omega_{k1} + \omega_{k2} + \omega_{k3}$ ) を使った場合



6(d) ( $\omega_{k1} + \omega_{k2} + \omega_{k3} + \omega_{k4}$ ) を使った場合

図 6 展開係数  $\omega_{ki}$  を順次増やした場合の再構成画像

### 3. 未知の最高速度制限標識に対する認識結果

図 7 は走行中に運転者が前方を見た時に、道路面上方に設置してある最高制限速度 40km/h の速度規制標識がある場合の風景画像である。画像上では遠方にあるため小さ過ぎて確認するのが難しいが、画像中央付近の位置にもう一つ速度規制標識がある。また、中央にある 2 つ赤く光っているのは信号機である。最高速度制限標識は、外形は円形で、外縁部は赤色の環、その内部に白地に青色で制限速度の数字が記してある。



図 7 運転時、通常見かける最高速度制限標識のある風景画像

カメラから得られる画像は通常 RGB 表色系である。色相情報を取り出すため、HSV (Hue, Saturation, Value) 表色系に変換し[21-23]、色合い、鮮やかさ、明るさを別々のパラメータとして表わし、明るさに対してロバストな色情報とする。0-2 $\pi$ の角度で表わされる色相 H に対して閾値を $-1/3\pi \leq H \leq 1/6\pi$ に設定した場合、図 8(a)に示す HSV 画像が得られる。図 8(b)に示すように、色相が設定した閾値内にある領域のみを白色それ以外を黒色として表示した 2 値化画像に置き換えると、標識以外の部分も抽出されていることが分かる。

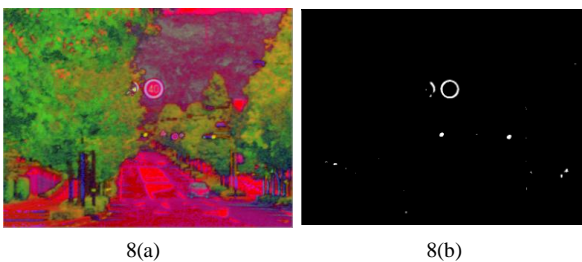


図 8 標識の外縁部の赤の環を抽出するため、色相 H に閾値を設定した場合の 8(a)HSV 画像と 8(b)  $-1/3\pi \leq H \leq 1/6\pi$ の色相領域を抽出した画像

図 8(b)に示すように標識以外のものも 2 値化画像に含まれるため、まずラベリング処理の段階において抽出された領域で面積の小さい白色領域のものを除去しておき、次にラベリングされた領域に対して輪郭処理を行い、輪郭情報として得られる面積と周囲長から領域の真円度を計算して

円と見なされる領域だけを抽出する。その結果を図 9 に示す。

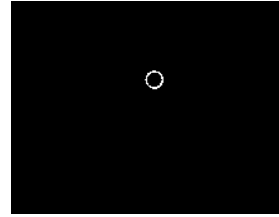


図 9 ラベリング処理に基づき抽出された円形の標識

抽出された標識の 2 値化画像 (図 9) から、赤の環の外接長方形を仮想すると速度制限標識の左上と右下座標が得られるため、その座標を基に原画像 (図 7) から標識の部分のみを抽出できるようになる。抽出した画像を図 10(a)に示す。これを HSV 画像 (図 10(b)) に変換し、色相に青色の閾値を設定して 2 値化処理した結果、図 10(c)に示すように最高制限速度 40km/h が抽出されていることが分かる。この画像を 32×32 ピクセルの画像サイズに正規化する。これを未知標識画像とする。

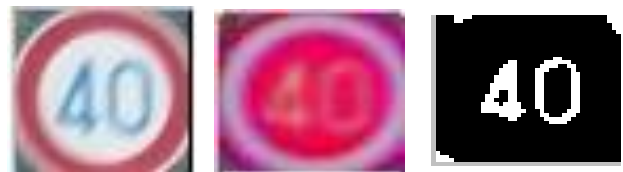


図 10 風景画像から抽出された最高制限速度 (未知標識画像)

サンプル画像に対して適用した処理手続きに基づき、同様の手続きで求められた未知標識画像の特徴ベクトル  $\Omega = (\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4)^T$  を表 2 に示す。

表 2 未知標識画像の特徴ベクトル  $\Omega = (\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4)^T$

	$\omega_1$	$\omega_2$	$\omega_3$	$\omega_4$
未知標識	-3.21	-3.42	0.487	-0.151

表 1 に示す学習サンプル画像の展開係数と表 2 に示す未知標識画像の展開係数に対して、(11)式のマッチング評価式により求めたユークリッド距離  $d_e$  の結果を表 3 に示す。速度 40km のユークリッド距離  $d_e$  が最小であることより、検出された未知標識は最高制限速度が 40km/h の標識であったとの認識結果が得られたことになる。従って、KL 変換に基づく部分空間法を 2 値化処理した標識画像に適用した場合に、その中の数字は十分認識可能であることが示された。

表 3 学習サンプル標識画像と未知標識画像とのユークリッド距離  $d_e$

	30km/h	40km/h	50km/h	60km/h	駐車禁止
ユークリッド距離	37.1	2.2	45.2	35.2	301.2

最高速度制限標識画像の抽出から認識までの処理時間に関して、1024 個の 1024 次元固有ベクトルのままで処理

した場合と 4 個の非零の固有値に基づく 4 個の 1024 次元固有ベクトルを使って認識処理した場合の処理時間の比較を表 4 に示す。部分空間に利用した処理は、高次元空間に比べ 10 倍程度高速に処理できることが分かる。

表 4 原特徴空間と部分空間における処理時間の比較

標識	原特徴空間 (1024 次元) の場合(sec.)	部分空間 (4 次元) の場合(sec.)
30km/h	3.06	0.42
40km/h	3.11	0.33
50km/h	3.08	0.34
60km/h	3.05	0.33
駐車禁止	3.06	0.33

#### 4. 傾きを持つ最高速度制限標識に対する認識結果

最高速度制限標識は、道路の状況によって様々な位置に配置されている。従って、車載カメラのように撮影方向が固定されている場合、道路中央にある標識の様にはほぼ真正面から撮影された画像だけではなく、道路わきに設置してある標識を撮影した画像は、車載カメラと標識との距離の関係により様々な角度を持つことになる。カメラと標識の配置関係は相対的に設定しても同じと考え、カメラと道路標識との距離を 10m 一定にして、カメラの角度を 15°、30°、45°、60° に変化させて得られた画像に本手法を適用した。

40km/h の最高速度制限標識がそれぞれ 15° ~ 60° の傾きを持つ画像とその画像に対する学習サンプル画像とのユークリッド距離  $d_e$  を図 11(a)~(d) に示す。

標識	$d_e$
30km/h	33.22
40km/h	4.22
50km/h	39.22
60km/h	35.22
駐車禁止	281.22



11(a)傾き角 15°

標識	$d_e$
30km/h	36.71
40km/h	3.71
50km/h	42.71
60km/h	38.71
駐車禁止	274.71



11(b)傾き角 30°

標識	$d_e$
30km/h	32.95
40km/h	7.95
50km/h	38.95
60km/h	32.95
駐車禁止	250.95



11(c)傾き角 45°

標識	$d_e$
30km/h	-
40km/h	-
50km/h	-
60km/h	-
駐車禁止	-



11(d)傾き角 60°

図 11 撮影角度の違いによって生じる標識の傾き画像と角度による認識への影響

標識が 45° まで傾いている場合には、ユークリッド距離  $d_e$  は最高制限速度が 40km/h で最小になっていることより、本手法によって最高制限速度が認識できていることが分かる。60° の傾きを持つ標識の場合には、真円度が 0.743 となっていた。処理過程の中で真円度が 0.8 以上の標識に対して処理するようにしていたため、標識自体の抽出が出来ていないことによって最高制限速度も認識されていない。傾き 60° という状況では、標識に対して車がかなり接近した状況であると考えられる。傾き 45° になるまで車が標識に接近した場合には、速度認識が出来ている。これらの傾きを標識までの距離に置き換えると、本手法は焦点距離 35mm 倍率 1 の撮影で標識の文字が抽出可能な限界約 20m 遠方から 5m に接近するまでは認識できていることを示している。

#### 5. まとめ

筆者らが以前提案した幾何学的手法に基づく認識手法では標識の速度表示を認識できなかった。そこで、標識の速度表示を認識するための KL 変換に基づく固有空間法による処理手法を提案した。本手法を適用すると、標識に記してある速度制限を表わす数字が通常の処理時間に比べ 10 倍の 0.3sec 程度で完全に認識することができた。車両周囲情報を的確に運転者に与える場合、考慮しなければならない処理速度、検出の正確さ、周囲の環境変化にロバストであることに関して、実験結果により本手法の有効性を確認した。また、標識と車載カメラとの距離が近くなる従って標識の傾き角度が大きくなる場合、標識画像が 45° の傾き角度になる距離まで速度表示を認識していることが確認できた。

本論文では提案手法の有効を確認するため静止画に対して処理を行ったが、本手法を車載カメラの動画に適用して実時間で処理できるように改良していく必要がある。また、広角の車載カメラで撮影した遠方の道路標識に対しても、標識に近づく早い段階で認識できる手法を検討する必要がある。

#### 謝辞

本研究を行うにあたり、ご協力を頂いた石川孝弘氏に深謝する。

#### 参考文献

- [1] 山内仁, 小島篤博, 宮本貴朗, 高橋浩光, 福永邦雄, “連続フレームからの抽出画像の重ね合わせによるロバストな道路標識認識手法”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J90-D, No.2, pp.494-502 (2007).

- [2] 莫舸舸, 青木由直, “カラー画像における道路標識の認識”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J87-D-II, No.12, pp.2124-2135 (2004).
- [3] S. Hsu, C. Huang, “Road Sign Detection and Recognition Using Matching Pursuit Method”, Image and Vision Computing, Vol.19, No.3, pp.119-129 (2001).
- [4] 内村圭一, 脇山慎也, “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.J-83-D, No.2, pp.855-858 (2000).
- [5] D.M. Gavrilu, “Multi-Feature Hierarchical Template Matching Using Distance Transforms”, Proc. of IEEE International Conference on Pattern Recognition, pp.439-444 (1998.Sept.).
- [6] G. Piccioli, E. De Michieli, P. Parodi; M. Campani, “Robust Method for Road Sign Detection and Recognition”, Image and Vision Computing, Vol.14, No.3, pp.209-223 (1996).
- [7] 木村茂, 田野浩明, 坂本卓也, 城間晴樹, 大橋洋一, “傾斜平面ステレオによる走行可能路面と障害物の検出”, 日本ロボット学科誌, Vol.23, No.2, pp.205-212 (2005).
- [8] 内田誠一, 岩村雅一, 大町真一郎, 黄瀬浩一, “カメラによる文字認識のためのカテゴリー情報の埋込に関する検討”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J89-D, No.2, pp.344-352 (2006).
- [9] D. Doermann, J. Liang, H. Li, “Progress in Camera-Based Document Image Analysis”, Proc.of IC-DAR'03, pp.606-616 (2003).
- [10] 小橋雄一朗, 石川直人, 中島真人, “道路標識の自動認識 -夜間における道路標識認識-”, 電子情報通信学会技術報告, Vol.ITS2003-98, IE2003-233, pp.57-62 (2003).
- [11] 松浦大祐, 山内仁, 高橋浩光, “特定色判別と領域限定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.J85-D-II, No.6, pp.1075-1083 (2002).
- [12] 内村圭一, 木村英雄, 脇山慎也, “道路情景カラー画像における円形道路標識の抽出および認識”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J81-A, No.4 (1998).
- [13] 藪木登, 松田喜貴, 片岡大, 鷺見育亮, 副井裕, 三木成彦, “動的ネットモデルの演算自動停止に関する一考察”, 電子情報通信学会技術報告, PRMU99-213, pp.69-76 (2000).
- [14] T. T. Zin, H. Hama, “A Robust Road Sign Recognition Using Segmentation with Morphology and Relative Color”, Institute of Image Information and Television Engineers[J], Vol.59, No.9, pp.1333-1342 (2005).
- [15] Z. Zhang, Y. Ahao, “Multiple Description Image Coding Based on Fractal”, Journal of Innovative Computing, Information and Control, Vol.3, No.6 (B), pp.1615-1623 (2007).
- [16] X. Zhang, “The Improvement of a Feature-Based Image Mosaics Algorithm”, Journal of Innovative Computing, Information and Control, Vol.4, No.10, pp.2759-2764 (2008).
- [17] C. C. Chen, D. S. Kao. “DCT-Based Zero Replacement Reversible Image Watermarking Approach”, Journal of Innovative Computing, Information and Control, Vol.4, No.11, pp.3027-3036 (2008).
- [18] 山内仁, 高橋浩光, “輪郭ベクトルの追跡による道路標識の認識”, 映像情報メディア学会誌, Vol.57, No.7, pp.847-853 (2003).
- [19] 福井和広, 山口修, “顔画像を用いた個人認証技術”, 東芝レビュー, Vol.56, No.7, pp.14-17 (2001).
- [20] S. Miyata, A. Yanou, H. Nakamura, S. Takehara, “Road Sign Feature Extraction and Recognition using Dynamic Image Processing”, Journal of Innovative Computing, Information and Control, Vol.5.No.11(B), pp.4105-4113 (2009).
- [21] V. Rehrmann, L. Priese, “Fast and Robust Segmentation of Natural Color Scenes”, Proc. of the 3rd Asian Conference on Computer Vision, Vol.1, pp.598-606 (1998 Hongkong).
- [22] 宮原誠, 吉田育弘, “色データ(R,G,B) $\leftrightarrow$ (H,V,C)数学的変換方法”, テレビジョン学会誌, Vol.43, No.10, pp.1129-1136 (1989).
- [23] Y.J. Zhang; Y.R. Yao; Y. He. Color Image Segmentation Based on HSI model, High Tech. Let., Vol.4, No.1, pp.28-31 (1998).