

モーメント特徴量を用いた低解像度ナンバープレート数字の識別 Discriminating Car License Plate Numbers on Low Resolution using Moment Characteristics

藤田和弘*
Kazuhiro FUJITA

四宮康治†
Koji SHINOMIYA

簗直樹*
Naoki TAKAMURA

中森伸行‡
Nobuyuki NAKAMORI

1 はじめに

ナンバープレートの識別に関しては、これまでに多くの研究がなされている [1]. 文献 [1]によれば、ナンバープレートの識別は、1)ナンバープレート領域の抽出、2)数字のセグメンテーション、3)各数字の識別の三つのステップから構成されるとされ、多くの研究は、特定の照明下、制限された車速、定常な背景という条件下でものである。

ところで、警察の捜査等において要望のある防犯カメラなどの車両の自動車登録番号票(ナンバープレート)は小さく、車両登録番号(ナンバープレート数字)の画素数が十分でなく、そのまま、人間が数字として読みとることは難しい。具体的には、数字当たり縦4、横2画素程度の画素数しかない場合があり、このような数字を読み取ることは困難である。また、従来のある程度の解像度と撮影条件を前提とした識別方法では、低解像度であるために数字本来の特徴が弱くなっているため、識別は困難である。

そのような低解像度ナンバープレート数字の識別方法として、吉川らは、ファジー推論を用いた識別方法を提案している [2]. この吉川らの方法は、低解像度では識別の難しい「0」、「1」、「8」の識別を行わず、「0,1,8」という同一のカテゴリとして識別を行うものであり、警察の捜査等からの要望を十分に満たしている識別方法ではない。

そこで、低解像度のナンバープレートの数字に特化した識別方法として、数字の幾何学的な特徴である縦と横それぞれのゆがみと偏平度および縦と横の標準偏差を特徴量としてベイズ識別する方法を提案する。数字当たり縦4画素、横2画素程度しかない場合を想定し、第一候補として識別することを目的とするのではなく、各数字の確からしさを示すことを目的とする。具体的には、ベイズ識別による得られる事後確率を提示し、その事後確率の

高い方から第3候補内に、本来の数字があることを目標とする。

2 ナンバープレート数字の低解像度化モデル

低解像度化画像 $\{\tilde{x}_{m,n}\}$ は、次式により原画像 $\{x_{m,n}\}$ を低解像度化したものであると仮定する。

$$\tilde{x}_{m,n} = \frac{1}{W^2} \sum_{k=0}^{W-1} \sum_{l=0}^{W-1} x_{[(m-m_0)/W]W+k, [(n-n_0)/W]W+l} \quad (1)$$

ここで、 W は解像度を何分の一にするかというファクタである。原画像を図1、低解像度化画像($W = 32$)を図2に示す。

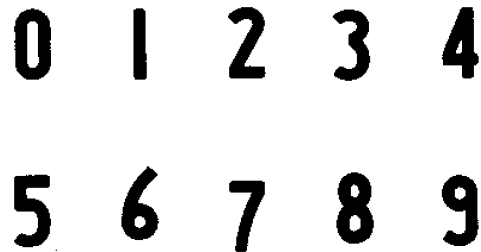


図1 原画像

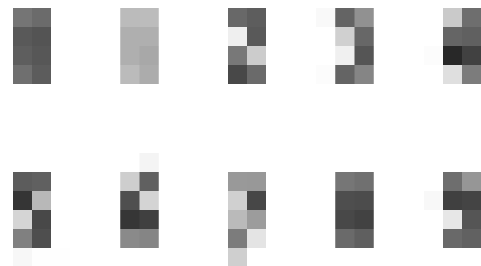


図2 低解像度化画像($W = 32, m_0 = n_0 = 0$)

* 龍谷大学, Ryukoku University

† 兵庫県警察科学捜査研究所

‡ 京都工芸繊維大学, Kyoto Institute of Technology

また、画像の観測過程のモデルとして、焦点ずれ過程を取り入れることにより、観測画像を拡大した際のぼけた画像に対応する画像を、観測画像と仮定する。具体的な焦点ずれ過程を、次式で仮定する。

$$\hat{x}_{m,n} = \sum_{(k,l)} b_{k,l} \tilde{x}_{m-k,n-l} \quad (2)$$

$$b_{k,l} = \int_{k-\frac{1}{2}}^{k+\frac{1}{2}} \int_{l-\frac{1}{2}}^{l+\frac{1}{2}} b(u,v) du dv \quad (3)$$

$$b(u,v) = \begin{cases} \frac{1}{\pi r^2} & u^2 + v^2 \leq r \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (4)$$

ここで、 $b(u,v)$ は円筒関数であり、 $b_{k,l}$ はその円筒関数を離散化した焦点ずれ劣化を表す点拡がり関数であり、 r は焦点ずれ劣化の程度を表す円筒関数の円の半径である。低解像度化画像(図2)を上式により焦点ずれ劣化させた画像を、図3に示す。



図3 低解像度化焦点ずれ劣化画像($W = 32, m_0 = n_0 = 0, r = 16$)

3 識別に用いる特徴量

本研究で対象とする低解像度ナンバープレート数字は、低解像度画像であるために、数字本来の幾何学的な特徴は弱くなっている。そこで、以下で定義する縦横両方向のゆがみと偏平度および縦と横の標準偏差の比を、識別の特徴量として用いる。ゆがみは、「5」、「6」や「7」、「9」などの分布の非対称性を特徴としてとらえるため、偏平度は、「0」、「1」などの分布の一様性を特徴としてとらえるため、標準偏差の比は、細さを特徴としてとらえる目的で、特徴量として用いている。また、これらの特徴量は、幾何学的な特徴を表すものであり、標準偏差により正規化を行っているので、解像度の変化、つまり低解像度化モデルにおけるファクタである W の変化の影響は、大きくないという特性がある。

- ゆがみ(skewness)

$$S_m = \frac{1}{\sigma_m^3 MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} (m - \mu_m)^3 \tilde{x}'_{m,n} \quad (5)$$

$$S_n = \frac{1}{\sigma_n^3 MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} (n - \mu_n)^3 \tilde{x}'_{m,n} \quad (6)$$

- 偏平度(flatness factor)

$$F_m = \frac{1}{\sigma_m^4 MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} (m - \mu_m)^4 \tilde{x}'_{m,n} - 3 \quad (7)$$

$$F_n = \frac{1}{\sigma_n^4 MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} (n - \mu_n)^4 \tilde{x}'_{m,n} - 3 \quad (8)$$

- 縦と横の標準偏差比

$$R = \frac{\sigma_m}{\sigma_n} \quad (9)$$

ここで、 μ_m, μ_n は縦横各方向の平均、 σ_m^2, σ_n^2 は縦横各方向の分散である。

$$\mu_m = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} m \tilde{x}'_{m,n} \quad (10)$$

$$\mu_n = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} n \tilde{x}'_{m,n} \quad (11)$$

$$\sigma_m^2 = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} (m - \mu)^2 \tilde{x}'_{m,n} \quad (12)$$

$$\sigma_n^2 = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} (n - \mu)^2 \tilde{x}'_{m,n} \quad (13)$$

また、上記の偏平度の定義において、3を減じているのは、ガウス分布の偏平度が3であり、低解像度ナンバープレート数字の場合においても、偏平度が3付近の値をとるためである。

なお、上記の特徴量の定義においては、低解像度化画像 $\{\tilde{x}_{m,n}\}$ を、次式より画素値の総和が1なるようにした正規化低解像度化画像 $\{\tilde{x}'_{m,n}\}$ を用いている。

$$\tilde{x}'_{m,n} = \frac{\tilde{x}_{m,n}}{\sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} \tilde{x}_{m,n}} \quad (14)$$

4 ベイズ識別

ゆがみ S_m, S_n 、偏平度 F_m, F_n 、標準偏差の比 R の5つの特徴量を用いて、ベイズ識別を行なう。

特徴量ベクトル \vec{x} を次式で定義する。

$$\vec{x} \equiv (S_m, S_n, F_m, F_n, R)^T \quad (15)$$

また、数字 $\{0, 1, 2, \dots, 9\}$ に対応するカテゴリーを、 $\{\omega_l; l = 0, 1, 2, \dots, 9\}$ とする。特徴量ベクトル \vec{x} が与え

られた時, 各カテゴリの発生確率 $P(\omega_l)$ を同一とする
と, カテゴリ ω_l である確率は次式で与えられる.

$$P(\omega_l|\bar{x}) = \frac{P(\omega_l)P(\bar{x}|\omega_l)}{P(\bar{x})} = \frac{P(\omega_l)P(\bar{x}|\omega_l)}{\sum_l P(\omega_l)P(\bar{x}|\omega_l)} \quad (16)$$

ここで, 各カテゴリの発生確率 $P(\omega_l)$ がカテゴリによ
れず一定と仮定すると, 次式となる.

$$P(\omega_l|\bar{x}) = \frac{P(\bar{x}|\omega_l)}{\sum_l P(\bar{x}|\omega_l)} \quad (17)$$

また, $P(\bar{x}|\omega_l)$ に対して, 正規分布を仮定する. つまり,

$$P(\bar{x}|\omega_l) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}|V_l|^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{1}{2}(\bar{x}-\bar{\mu}_l)^T V_l^{-1}(\bar{x}-\bar{\mu}_l)} \quad (18)$$

ここで, $\bar{\mu}_l$ は平均, V_l は自己共分散行列である.

$$\bar{\mu}_l = E[\bar{x}] \quad (19)$$

$$V_l = E[(\bar{x} - \bar{\mu}_l)(\bar{x} - \bar{\mu}_l)^T] \quad (20)$$

実際に識別を行う際には, $\bar{\mu}_l$ と V_l は, 低解像度化モデル
の式(1)において, W を固定し, $m_0 = 0, 1, \dots, W-1$,
 $n_0 = 0, 1, \dots, W-1$ と変化させて, 事前に学習を行な
った値を用いる.

5 計算機シミュレーション結果

提案する識別法を評価するために, 分割法 [3]に基づく
識別の計算機シミュレーションを行った. 各数字に対し
て, $W = 32$ として低解像度ナンバープレート数字を1,024
枚作成し, その半分512枚を学習用画像, 残りの半分512
枚を識別用画像として, 識別実験を行い, その後, 学習用
画像と識別用画像を入れ替えて, 識別実験を行った結果
を, 表1に示す. なお, 表1では, 第一候補と第二候補に識
別された結果を合計して示している.

表1では, 「1」の第二候補までの識別率が最も低い. こ
れは, 「1」を「0」および「8」と間違える誤識別が多いた
めである. 「0」, 「1」, 「8」は, 低解像度においては類似し
ているために, 幾何学的な特徴量であるゆがみや偏平度
を利用した識別では, 誤識別となるのは仕方ないと思わ
れる. また, 誤識別の傾向として, 「5」を「9」に誤識別
する, 「6」を「4」に誤識別する, 「7」を「9」および「5」
に誤識別する, 「8」を「0」に誤識別する, 「9」を「5」お
よび「7」に誤識別するなどは, 直感と一致するものであ
る. しかしながら, 「0」を「5」に誤識別する, 「2」を「1」
に誤識別する, 「3」を「1」に誤識別する, 「4」を「8」に
誤識別する, 「6」を「0」および「8」に誤識別する, 「8」
を「2」および「5」に誤識別するなどは, 通常の数値を見
慣れていると, 直感とは一致しない傾向である.

6 計算機実験結果

実際の観測画像においては, ナンバープレート部分の
光の当たり方などにより, 数字の背景部分の白い部分が,
必ずしも白ではなく, 灰色になっていることが多い. そ
のような場合, そのままの画像に対して, 本提案法の中心
モーメントを利用すると推定誤差が大きくなる. そこで,
識別を行う前処理として, 観測画像 $\{y_{m,n}\}$ から次式によ
り平面トレンド $am + bn + c$ を除去する.

$$\hat{y}_{m,n} = y_{m,n} - (am + bn + c) \quad (21)$$

平面トレンド $am + bn + c$ は, 次式により定義する画像
の周辺領域 S_B における観測画像 $\{y_{m,n}\}$ と平面トレンド
 $am + bn + c$ との平均二乗誤差を表す評価関数 $J(a, b, c)$ を
最小とすることにより求める.

$$J(a, b, c) = \frac{1}{N(S_B)} \sum_{(m,n) \in S_B} \{y_{m,n} - (am + bn + c)\}^2 \quad (22)$$

$$S_B = ((m \leq d) \vee (m + d \leq M - 1)) \wedge ((n \leq d) \vee (n + d \leq N - 1)) \quad (23)$$

ここで, d は画像の端からの距離, $N(S_B)$ は画像の周辺領
域 S_B の画素数を表す.

実際にナンバープレートを遠方よりデジタルカメラ
で撮影し, そのナンバープレート部分を抽出した画像を,
図4に示す. 数字の部分は, ほぼ縦4画素, 横2画素程度と
なっている. つぎに, 図4の各数字に対して, 数字の外側
の画素を含めて, 切りだし, 焦点ずれ劣化, 平面トレンド
の除去を行った結果を, 図5に示す.



図4 実際の観測画像「9173」

つぎに, 本提案法を用いて識別を行った結果を, 表6に
示す. 1桁目「9」の第一候補は「5」, 第二候補が「9」と
なり, 第二候補以内に識別が行えている. 2桁目「1」は第
一候補として識別が行えている. 3桁目「7」も第一候補
として識別が行えている. 4桁目「3」は第一候補が「9」,
第二候補が「7」, 第三候補が「5」, 第四候補が「3」とな
り, 残念ながら第四候補での識別となった.

表1 識別シミュレーション結果(第一および第二候補)

	識別結果										第二候補までの 識別率[%]
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0	722	216	91	140	75	357	0	0	375	72	69.8
1	834	519	141	25	49	27	0	14	439	0	50.7
2	32	835	1,011	45	0	0	0	0	116	0	98.7
3	197	471	279	835	21	64	0	0	4	178	81.5
4	628	84	0	5	901	0	28	0	402	0	88.0
5	198	7	16	120	0	960	0	42	138	568	93.8
6	222	0	0	0	425	0	1,024	0	377	0	100.0
7	0	0	0	1	0	341	0	1,022	0	684	99.8
8	608	36	246	67	11	217	0	0	863	0	84.3
9	0	0	0	70	0	740	0	261	0	978	95.5



図5 切りだし画像「9」, 「1」, 「7」, 「3」

7 まとめ

防犯ビデオなどにより撮影された画像中の低解像度ナンバープレート数字に対して、ゆがみや偏平度などの中心モーメントを特徴量として用いた識別方法を提案した。計算機シミュレーションでは、第二候補までの識別率が、「1」が最も低く50.7[%]となり、「6」が最も高く100.0[%]であった。また、実際の低解像度ナンバープレート数字に対して、識別を行い、最も良好な結果は、第一候補での識別、最も良好でない結果では、第四候補での識別で

表2 “9”、“1”、“7”、“3”の識別結果

	“9”	“1”	“7”	“3”
$P(\omega_0 \vec{x})$	0.072	0.000	0.000	0.000
$P(\omega_1 \vec{x})$	0.000	0.616	0.000	0.000
$P(\omega_2 \vec{x})$	0.000	0.367	0.000	0.000
$P(\omega_3 \vec{x})$	0.020	0.013	0.000	0.005
$P(\omega_4 \vec{x})$	0.000	0.003	0.000	0.000
$P(\omega_5 \vec{x})$	0.490	0.000	0.000	0.108
$P(\omega_6 \vec{x})$	0.000	0.000	0.000	0.000
$P(\omega_7 \vec{x})$	0.001	0.000	1.000	0.338
$P(\omega_8 \vec{x})$	0.036	0.000	0.000	0.000
$P(\omega_9 \vec{x})$	0.380	0.000	0.000	0.548

あった。

今後は、正面以外から撮影されたナンバープレート画像に対して、画像の幾何学変換を行う前処理について研究を行う予定である。

参考文献

- [1] C-N.E.Anagnostopoulos, I.E.Anagnostopoulos, I.D.Psoroulas, V.Loumos: “ License Plate Recognition From Still Images and Video Sequences: A Survey ”, IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems, Vol.9, No.3, September 2008
- [2] 吉川歩, 吉川奈緒子, 藤田和弘: “ 記号識別装置、記号識別方法、およびコンピュータプログラム ”, 特許出願2002-303032,, 特許公開2004-139325
- [3] 浜本義彦: “ 統計的パターン認識入門 ”, 森北出版 (2009)