ニューラルネットワークを用いたナンバープレートの動的検出*
(第2報, 微分投影輝度によるアプローチ)菅沼直樹^{*1}, 包 躍^{*2}, 藤原直史^{*3}Dynamic Detection of a License Plate Using Neural Network
(2nd Report, Approach with Differential Projected Intensity)Naoki SUGANUMA^{*4}, Bao YUE and Naofumi FUJIWARA^{*4} Faculty of Engineering, Kanazawa University, 2-40-20, Kodatsuno, Kanazawa, Ishikawa, 920-8667 JAPAN

In order to detect a license plate on moving vehicle, it becomes important, different from stopping vehicle to consider its size on the image. So, we have developed a new method to detect it utilizing information of characters' row up to now. But in the pre-proposed method, there is a problem that reliability is low if the large figure on the license plate is only one, and there are some cases that we can't decide license plate position estimated from detected characters if detected figure is less than two. In this paper, we illustrate a stable method to detect it by improving the evaluate function.

Key Words: Image Processing, Neural Network, Pattern Recognition, Automobile, License Plate

1. まえがき

近年, 自動車のナンバープレートの視覚情報を利用したさまざまなシステムが開発されている. たとえば駐車場における自動出入管理システム⁽¹⁾, 高速道路における自動料金収受システム(ETC)⁽²⁾ などがある. また筆者らの最近の研究では自動車のナンバープレートを用いて車両間相対距離および姿勢計測を行う⁽³⁾こともでき, その応用はとどまるところを知らない.

従来にもナンバープレートを検出する方法として, MMS フィルターを用いてコントラストの高い塊を抽出する方法⁽⁴⁾, また局所平均化フィルターによりナンバープレートらしさを抽出し, ニューラルネットワークを用いてナンバープレート位置を検出する方法⁽¹⁾ 等が提案されていた. しかし, 駐車場における自動車の出入管理や高速道路の自動料金収受システムのように, ナンバープレートの出現する位置や大きさがある程度特定できる場合と比して, 移動車両上からナンバープレートを検出するときには, 評価するナンバープレートまでの距離が特定できないため, 画像上のナンバープレートの大きさが特定できず, 前記の方法ではその検出が困難であった.

そこで著者らは, 前報⁽⁵⁾においてニューラルネットワークを用いた動的環境下におけるナンバープレ

ート検出方法を提案した. この方法では, ナンバープレートの画像上の大きさがどのようなものであってもその位置および大きさを検出でき, また検出と同時にそのナンバーを読み取ることが可能という特徴を有していた. これによりプレートの大きさに影響されない検出が可能となるため, 自動追尾走行への応用⁽⁶⁾等が可能となった. しかし前報において, ナンバープレートに記載されている数字が1桁の場合には検出が不安定となり, 検出位置がずれてしまう可能性があることが報告されている. そこで本報では, これまでの検出方法における問題点を踏まえ, ナンバープレート検出に用いる評価関数を改良することにより, 上記の問題点を解決し, 安定してナンバープレートの位置および大きさを検出できる方法を提案する.

2. 数字パターンの検出⁽⁵⁾

本論文では画像中からナンバープレートを検出するために前処理として画像を2値化し, ナンバープレートの下部4桁の数字を検出する. このとき画像中の輝度の不均一さに影響されず文字部分をきれいに領域分割を行うことができるように動的2値化⁽⁷⁾法を用いた. そして得られた2値画像にラベリングを行い, 連結画素成分の結合を行う. これにより画像中に存在する個々の数字が1つ1つの塊として扱えるようになる.

次に得られた塊の中から数字を検出し, その数字が0から9までのどの数字であるかを認識する方法

* 原稿受付 1999年4月9日.

^{*1} 学生員, 金沢大学大学院 (〒920-8667 金沢市小立野2-40-20).^{*2} 横浜国立大学工学部 (〒240-8501 横浜市保土ヶ谷常盤台79-5).^{*3} 正員, 金沢大学工学部.

E-mail: suganuma@puma.ms.t.kanazawa-u.ac.jp

Fig.1 Neural network model

について述べる. ここでは数字の検出およびその数字の認識にニューラルネットワークを用いる. ここで用いたニューラルネットワークは図1に示すリカレント結合を有しない3層の階層型構造を持つ.

このニューラルネットワークには, 入力されたパターンが数字であるかどうか判断する機能と, 実際にそのパターンが数字である場合, 0~9までのどの数字であるかを認識する機能を同時に持つことができるようにあらかじめ学習されている. このニューラルネットワークに, 2値化により得られた各塊の画像を入力し, 次式により各塊が数字であるかどうかを判断し, 同時に数字である場合にはその数字が0~9までのどの数字であるかを認識する.

$$N = \max_{i=0}^9 O_i$$

$$\text{if} \begin{cases} N > \psi & : \text{数字である} \\ \text{otherwise} & \text{数字ではない} \end{cases} \quad \dots\dots (1)$$

ここで O_i はニューラルネットワークの出力層ニューロンにおける第 i 番目のニューロンの出力を表し, ψ は数字であるかどうかを判断するしきい値であり, 学習したニューラルネットワークの出力から統計的に求めることができる. このとき N をとる i の値から入力された画像が数字であるかどうかを判断すると同時に, 実際に数字である場合それがどの数字であるかを判断することができる.

3. ナンバープレートの検出

3.1 文字間の位置関係を用いた評価関数⁽⁵⁾

ここではニューラルネットワークにより数字であると判断された塊間の画像上における位置関係と, それらの塊の形状を元に最もナンバープレートである可能性の高い部分を評価する方法について説明する.

ナンバープレートの形状は既知であるため, 各数字間の並び方も既知である. しかし, ナンバープレートに記載されているナンバーには1桁の場合から4桁の場合まであり, ナンバープレート検出前には

その桁数が何桁であるか知る方法がない. そこで, 次式に示す数字間の位置関係を用いた評価関数を導入する.

$$P_N(\alpha) = \left(4 - \sum_{i=1}^4 O_i \right)^2 + \left\{ 3 - \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq \alpha}}^4 \left(\frac{H_i}{H_\alpha} \right)^\gamma \right\}^2$$

$$\gamma = \begin{cases} 1: (H_i \leq H_\alpha) \\ -1: (H_i > H_\alpha) \end{cases}$$

$$\dots\dots\dots (2)$$

$$\begin{cases} x_i = x_\alpha + \eta_i \cdot H_\alpha \\ y_i = y_\alpha \end{cases} \quad \dots\dots\dots (3)$$

但し式(2)は, 対象として考える塊 N がナンバープレートの α 桁目の数字であると考えたとき, その周囲にその他の i 桁目 ($i \neq \alpha$) の数字があるという仮説にもとづくものである. ある一つの塊 N がナンバープレートの α 桁目の数字である場合, 他の桁となるすべての数字の位置 (x_i, y_i) を式(3)により推定することができる. ここで式(3)における係数 η_i は i 桁目の数字の相対的位置を表わす係数である. 推定した数字の位置周辺にニューラルネットワークにより検出した塊があるとき, H_i , O_i はそれぞれ i 桁目の数字位置周辺で検出された塊の高さ, およびニューラルネットワークの出力結果 ($0 \leq O_i \leq 1$) を示すこととなる.

この評価関数 P_N が小さいほど, ナンバープレートの数字間の並び方が, 実際のナンバープレートのそれに類似していることを示し, ナンバープレートに記載されているナンバーの桁数によらず評価することが可能となる.

3.2 微分投影輝度を用いた評価

しかし 3.1 で述べた方法のみを用いてナンバープレートの検出を行うと, ナンバープレートに記載されている数字が3桁または4桁の場合においては比較的安定して検出が行えるのに対し, 記載されている数字が1桁の場合については, 検出が不安定となることが前報において確認された. これはナンバープレートの数字が1桁の場合, 式(2)に示した数字間の位置関係を用いた評価関数が, 1つの塊に対する評価しか行えないためであると考えられる. また検出した数字が2桁以下のとき, そこから推定できるナンバープレートの位置が一意に定まらないという問題もある. 例えば記載されたナンバーが4桁であるにもかかわらず, ノイズ等の影響によりニューラルネットワークが2桁の数字しか検出できなかったとき, 図2に示すようにそこから推定される位置は2通り存在する.

(a) True license plate
(b) Estimated two different positions of license
Fig.2 Example of occurring an

これらの問題を解決するためには、文字間の位置関係を用いた評価のみでなく、ナンバープレートの画像に関する客観的な評価も行い、それらの結果から総合的にナンバープレートを検出することが望ましいと考えられる。そこで本システムでは微分画像の縦方向の投影輝度（以後簡単に微分投影輝度と呼ぶ）に着目した。微分投影輝度は図 3(a)~(c) に示すようにナンバープレートに記載されている文字の種類にはあまり依存せず、似た形状となる。また図 3(d) に示すように、ナンバープレートから少し外れた部分ではかなり異なった形状となることが多い。このことから、あらかじめナンバープレート部分の微分投影輝度のテンプレートを作成しておき、ナンバープレート検出時にこのデータと比較することで、正しいナンバープレートの位置を特定することができると思われる。

以下に具体的手法について述べる。

3.2.1 テンプレートデータの作成 まず評価関数に用いる微分投影輝度のテンプレートの作成法について述べる。

テンプレートの作成にはナンバープレートを含む画像について、図 4 に示す値と注目画素を含む周囲 9 点の各画素値との積和演算によって微分処理を行う Sobel オペレータを使用し、次式を用いて各画素について微分値を求める。

$$I(i, j) = |f_x(i, j) + f_y(i, j)| \dots\dots\dots (3)$$

ただし f_x および f_y はそれぞれ X 方向および Y 方向 Sobel オペレータの演算結果を示す。ここで画像に微分処理を施したのは、輝度の偏りに依存しないテンプレートを作成するためである。

次に得られた微分画像中から次式によりナンバープレート部分の縦方向の微分投影輝度を作成する。

$$D'_i = \frac{\sum_{(x,y) \in E_i} I(x, y)}{\sum_{(x,y) \in E_i} 1} \dots\dots\dots (4)$$

(a) Example 1 (b) Example 2 (c) Example 3 (d) Example 4

Fig.3 Differential projected intensity

(In each figure, the top, middle and bottom image denotes original image, differential image and differential projected intensity respectively)

1	0	-1
2	0	-2
1	0	-1

(a) X Direction

(b) Y Direction

Fig.4 Sobel operator

Fig.5 Definition of signs

$$(i:1,2,\dots,N)$$

$$E_i \in \left\{ x: \frac{(i-1) \cdot W}{N} \leq x - X_l < \frac{i \cdot W}{N} \right. \\ \left. y: 0 \leq y - Y_l < H \right\}$$

..... (5)

ここで $I(x, y)$ は座標 (x, y) における輝度を示し、 (X_l, Y_l) はナンバープレート矩形領域の左上座標であり、 W 、 H はそれぞれナンバープレート矩形領域の横幅および高さを示す。またナンバープレート領域の決定には前報で述べたナンバープレート検出法を用いることにより、テンプレート作成に用いる個々のナンバープレート画像の人為的な位置ずれを防ぐ。

式(4)、(5)からも分かるように、既知データとして用いる微分投影輝度は、用いるナンバープレート画像の大きさの違いを考慮して、そのデータの近傍データの平均をとり、強制的に N 個の要素を持つデ

ータとして作成している。これによりテンプレート
をナンバープレートの大きさに依存しない特徴量と
して記憶することが可能となる。

つぎに、得られた微分投影輝度のノイズの除去を
行うために次式を用いて平滑化を行う。

$$D_i = (D'_{i-1} + D'_i + D'_{i+1}) / 3 \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$(i: 2, 3, \dots, N-1)$$

この作業を L 枚の画像について行い、次式を用い
てそれらの微分投影輝度の平均をとる。

$$R_i = \sum_{j=0}^L D_i / L \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$(i: 1, 2, \dots, N)$$

これによって個々のナンバープレートの個体差
を吸収することが可能となる。

**3・2・2 微分投影輝度を用いたナンバープレー
ト評価関数** 次に得られたテンプレートを用いて
ナンバープレートの評価する方法について述べる。

まず2章で述べた方法により検出した数字の位置
と高さから次式を用いて、ナンバープレートの位置
を推定する。

$$\begin{cases} x_l = x_c - \mu_l(\alpha) \cdot H \\ x_r = x_c + \mu_r(\alpha) \cdot H \\ y_t = y_c - \mu_t(\alpha) \cdot H \\ y_b = y_c + \mu_b(\alpha) \cdot H \end{cases} \quad \dots\dots\dots (8)$$

ただし (x_c, y_c) は検出された数字の中心の座標を
示し、 H はその数字の高さを示す。また $\mu_l(\alpha)$, $\mu_r(\alpha)$,
 $\mu_t(\alpha)$, $\mu_b(\alpha)$ はそれぞれ、対象として考える数字が
 α 桁目の数字であると考えたときに推定されるナン
バープレートの左端、右端、上端、下端へのその数
字の中心位置からの数字の高さに対する距離の比を
示す。

つぎに、テンプレートを作成する時と同様にして、
式(3)~(6)を用いて微分投影輝度 D_i を作成し、あら
かじめ用意しておいたテンプレート R_i から次式を
用いて正規化相互相関係数を計算することにより、
ナンバープレートとの類似度を評価する。

$$C_N(\alpha) = \frac{\sum_{i=1}^N R_i \cdot D_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^N R_i^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^N D_i^2}} \quad \dots\dots\dots (8)$$

この評価方法では3・1で述べた方法と異なり、ナ
ンバープレート画像全体に対する評価を行っている
ため、数字の桁数にはあまり影響されずに評価が行
えるものと考えられる。また正規化相互相関係数
を用いることで、図3(c)のように、投影した形状は似

ているが輝度が少ない場合についてもそれに影響さ
れずに評価することができる。

3・3 ナンバープレートの検出 最後に3・1で
述べたナンバープレートの文字間の位置関係を用い
た評価関数 P_N と3・2で述べた微分投影輝度を用い
た評価関数 C_N を用いてナンバープレートの位置を
特定する。

具体的にはすべての塊について、その塊が α 桁目
の数字であると考えたときの評価関数 P_N および C_N
を計算し次式が最小となる数字の位置および α を求
める。

$$E_N(\alpha) = \frac{P_N(\alpha)}{25} + \{1 - C_N(\alpha)\} \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$(\alpha: 1, 2, 3, 4)$$

ただし上式では $P_N(\alpha)$ を25で除しているが、これ
は $P_N(\alpha)$ の最大値が25であり、微分投影輝度を用い
た評価関数 $C_N(\alpha)$ と同じ重みで評価を行うために正
規化を行ったためである。また $C_N(\alpha)$ については最
大値が1であり、1に近いほどテンプレートと似た
データとなるため、1から $C_N(\alpha)$ を引いた値を評価
値として用いている。

この評価関数 E_N が最小となる塊 N を検出し、こ
の塊 N の位置と、最大で3つ存在する他の桁に相当
する塊の位置情報をもとにナンバープレート位置を
特定し、その検出を行う。これにより数字の並び方、
画像の類似度といった観点からナンバープレート画
像を評価することができ、前報に比べて安定した検
出が行えるものと考えられる。

4. 実験

実験は、日中にデジタルカメラを用いてさまざま
な照明条件下で撮影した、サイズが異なる200枚の
ナンバープレートの画像を用いた。ただし、ここで
用いた画像中には陸運支局名が21種類含まれる。
また、桁数については3桁が21枚、2桁が2枚、1
桁は1枚含まれている。

**4・1 微分投影輝度を用いた評価方法について
の検討** まず3・2で提案した微分投影輝度を用いた
評価により、ナンバープレート位置である部分とそ
うでない部分をどの程度分離できるのかを確認する。

まずテンプレート作成のため200枚の画像から
任意に選び出した25枚の画像からテンプレート
を作成した。その結果を図6に示す。ただし本論文で
は微分投影輝度の要素数 N を256として以後の処
理を行う。

次に、得られたテンプレートから(8)式を用いてナ

ナンバープレートの左右 $\pm W/2$ の範囲において評価関数 C の値がどのように変化するかを調べた。

実験の結果、すべての画像について中心部分が最大となっておりナンバープレートの位置を正しく検出できることが確認できた。図7にそれらの結果の一部を示す。また図7から、ナンバープレートに記載されている桁数によらず正しいナンバープレートの位置を検出できることも確認できる。ここで図7のすべての場合で相関値 C が周期的に極大値をとっているが、これはナンバープレートの文字の並び方から、図7に示すテンプレートのように微分投影輝度が周期的に高い値をとる傾向にあるため、テンプレートと比較したとき周期的に高い相関値を取るものであると考えられる。また図7(b), (d)のようにその周囲部分についても相関値 C が比較的高い値を取る場合があった。これは、ナンバープレート周辺

部の車の形状を投影した結果、テンプレートとその部分の微分投影輝度が類似してしまったためであると考えられる。

以上の結果から微分投影輝度はそれだけでナンバープレートを検出することは難しいが、ナンバープレートの一評価法としては有効な手段であるといえる。

4.2 検出率の評価 ニューラルネットワークの学習には40枚のナンバープレート画像を用い、検出率評価には200枚の画像を用いた。またナンバープレートを正しく検出できたかどうかの判定には、図8のように処理結果を示し、目視によりその判定を行った。ただし本実験には静止画像を用いているが、影のある画像、逆光の画像、サイズの異なる画像等を用いることで擬似的に移動時の環境とした。

まず前報における検出方法、すなわち評価関数 P_N のみを用いた場合と、本報における方法との検出率の違いを確かめるために、前報で提案した方法を用いた検出率評価を行った。その結果200枚の画像中192枚(96.0%)の画像について正しいナンバープレートの位置を検出することができた。しかし図3のような場合において、図9(a)のように下部4桁の数字、5, 2, 7, 9のうち、正しく認識できた数字が5, 2のみであったため、正しい位置を検出できない

Fig.6 Template

Fig.7 Change of correlation value around a license plate

(In the figure, vertical and horizontal axis denotes correlation value and difference from true license plate position respectively, and W is the width of license plate)

Fig.8 Result of license plate detection

(a) Example of occurring an error using pre-proposed method

(b) Example of detection corrected by proposed method

Fig.9 Difference of license plate detection between pre-proposed and proposed method

画像があった。

次に 4.1 で作成したテンプレートを用いて本報で提案した手法の検出率評価を行った。その結果 200 枚中 198 枚(99.0%)の画像について正しいナンバープレートの位置及びその大きさを検出することができた。提案した方法を用いた場合、前報における方法において、図 9(a)に示したような検出位置がずれてしまった場合についても図 9(b)に示すように正しく検出することができた。また前報において正しく検出できなかった 1 桁のナンバープレートについても正しい位置を検出することができた。さらに、検出に用いるテンプレートがナンバープレート画像の組み合わせに依存しないことを確かめるために、4.1 で作成した時と異なる組み合わせのナンバープレート画像、各々 25 枚から作成した 2 つのテンプレートを用いて検出率評価を行った。その結果、これら 2 つの場合双方において 200 枚中 199 枚(99.5%)について検出できた。以上から、任意の組み合わせによるナンバープレート画像から抽出したテンプレートを用いて本手法が適用可能であることが確認できる。

しかし、ナンバープレートの検出はできるが、ナンバープレート上に記載されている数字すべてを認識することができた場合は、必ずしも多くはなかつ

た。この原因としてはニューラルネットワークの構造や学習方法等が最適でなかったということが考えられる。一方提案手法では、評価関数にナンバープレートに記載されている下部 4 桁の数字の情報を用いて総合的にナンバープレートを判断しているため、たとえすべての数字を検出できなかったとしても、最低ナンバープレート上の 1 つの数字を検出できさえすれば、その位置からナンバープレートの位置を検出できる。このため高い確率でナンバープレートを検出することができたものと思われる。

5. むすび

本論文では、前報において提案したナンバープレート検出方法を改良し、ナンバープレート位置を検出する評価関数として文字間の位置関係、およびナンバープレートの微分投影輝度を用いることにより、ナンバープレートを検出する方法を提案した。そして実験を行った結果、99.0%という高い確率で安定してナンバープレートを検出することが確認された。提案手法の特徴をまとめると以下ようになる。

- (1) 前処理を行いナンバープレートの文字を切り出すことでナンバープレートの画像上でのサイズに影響されない動的検出が可能である。
- (2) 前処理に動的 2 値化法を用いたため、不均一な輝度の影響を受けにくい。
- (3) 微分投影輝度を用いたアプローチにより、高確率でナンバープレートを検出することが可能となった。

文 献

- (1) 藤吉, 梅崎, 今村, 金出, "ニューラルネットワークによるナンバープレートの位置検出", 信学論(D・II), Vol.J80-D-II, No.6, (1997), 1627-1634
- (2) 丸山, "これで渋滞解消!?!-高速道路料金所", 日本機械学会誌, 101-952, (1998), 142-143
- (3) 権, 菅沼, 包, 藤原, "ナンバープレートを用いた車間距離と姿勢のセンシング", 第 40 回自動制御連合講演会, 1997, 541-542
- (4) M.Takatoo, T.Kitamura, H.Takenaga, Vehicle License Number Recognition System Using Image Processing, IEEE Tokyo Section, No.29, (1990), 75-79
- (5) 菅沼, 権, 包, 藤原, "ニューラルネットワークを用いたナンバープレートの動的検出", 機論, 64-626, C(1998), 3833-3838
- (6) 権, 包, 藤原, "テンプレートの切り替えによるナンバープレートの自動追尾及び計測", 機論, 65-639, C(1999), 4343-4318
- (7) 塩, 情景画像中文字の検出のための動的 2 値化処理法, 信学論(D), Vol.J71-D, No.5, (1988), 863-873