



修士論文

ナンバープレート認識の 高精度化に関する研究

平成 20 年度修了

三重大学大学院工学研究科
博士前期課程 情報工学専攻

加藤 裕康

はじめに

ナンバープレート認識は交通量のモニタリング，不審車や盗難車の監視，駐車場のアクセスコントロール等に広く利用されている．これらの多くは無人で運用され，ナンバープレートで個人を特定するため，その精度には高い信頼性が求められる．従来手法では，カメラの設置位置を限定して，画像中のナンバープレートの大きさや文字の大きさを事前情報として利用したり，照明条件を工夫して，コントラストの高い画像を得ることによって安定した認識が可能となった．しかし夜，雨などの悪条件下では依然としてその精度が不十分であるという問題がある．これは，夜や雨の日では照度が不足することや，補助照明の反射によるハレーションが起こりやすいということが原因に挙げられる．直射日光が当たる状況や，逆光といった撮影条件も精度低下の原因のひとつである．また，中小規模でのナンバープレート認識技術の適用の要望の高まりにより，汎用性が高く，悪条件下で撮影された画像の認識を低コストで実現できる手法が必要とされている．

ナンバープレート認識の一般的な処理の流れは以下の通りである．

1. 入力画像からのナンバープレート領域の抽出
2. ナンバープレート領域からの文字抽出
3. 文字認識

ナンバープレート認識は，まず，ナンバープレートを含む車両の画像からナンバープレート領域の部分のみを取り出す処理（以後ナンバープレート抽出と呼ぶ）を行い，その後ナンバープレート領域の画像から文字となる部分を取り出す処理（以後文字抽出と呼ぶ）を行う．そして各文字領域に対し，文字認識を行うことで車両を特定できる．

この流れから，ナンバープレート認識全体の精度は各ステップの精度に大きく依存していることがわかる．つまり，各ステップを高精度に行えれば，ナンバープレート認識全体としての精度を高められる．

本研究では，撮影条件にロバストで，コントラストが低い画像でも安定して高精度にナンバープレート認識が行えるシステムの設計を目指す．また，設置位置の制限を軽減するためにナンバープレートの大きさや，それに伴う文字の大きさに関する事前情報は利用しな

目次

はじめに	i
第 1 章 研究の背景と目的	1
1.1 研究の背景	1
1.2 目的	2
第 2 章 提案手法	3
2.1 入力画像	3
2.2 ナンバープレート抽出	4
2.3 文字抽出	12
2.4 文字認識	21
第 3 章 実験と考察	23
3.1 ナンバープレート抽出	23
3.2 文字抽出	26
3.3 文字認識	27
第 4 章 むすび	29
4.1 まとめ	29
4.2 今後の課題	29
謝辞	30

第 1 章

研究の背景と目的

1.1 研究の背景

ナンバープレート認識は交通量のモニタリング，不審車，盗難車の監視，駐車場のアクセスコントロール等に広く利用されている．これらの多くは無人で運用され，ナンバープレートで個人を特定するため，その精度には高い信頼性が求められる．従来手法では，カメラの設置位置を限定して，画像中のナンバープレートの大きさや文字の大きさを事前情報として利用したり，照明条件を工夫して，コントラストの高い画像を得ることによって安定した認識が可能となった．しかし夜，雨などの悪条件下では依然としてその精度が不十分であるという問題がある．これは，夜や雨の日では照度が不足することや，補助照明の反射によるハレーションが起こりやすいということが原因に挙げられる．直射日光が当たる状況や，逆光といった撮影条件も精度低下の原因のひとつである．

さらに中小規模でのナンバープレート認識技術の適用の要望の高まっていることから，できる限り撮影時のコストを軽減することが望ましい．応用が期待できる例として，駐車場での契約車両の判定，入出庫時の混雑緩和，工事現場における守衛業務の効率化，イベントなどにおける来場車両の地域別データの収集など多種多様な例が挙げられる．そこで，こういった要望に応えることができるように，様々な場所で使用できる汎用性が高く，悪条件下で撮影された画像の認識を低コストで実現できる手法が必要とされている．

ナンバープレート認識の一般的な処理の流れは以下の通りである．

1. 入力画像からのナンバープレート領域の抽出
2. ナンバープレート領域からの文字抽出

3. 文字認識

ナンバープレート認識は、まず、ナンバープレートを含む車両の画像からナンバープレート領域の部分のみを取り出す処理を行い、その後ナンバープレート領域の画像から文字となる部分を取り出す処理を行う。そして各文字領域に対し、文字認識を行うことで車両を特定できる。

この流れから、ナンバープレート認識全体の精度は各ステップの精度に大きく依存していることがわかる。つまり、各ステップを高精度に行えれば、ナンバープレート認識全体としての精度を高めることができる。

ナンバープレート抽出ではエッジの情報を基にナンバープレートらしさを指標として検索する手法が広く用いられている。ハフ変換によってナンバープレート枠のエッジを検出し、ナンバープレート位置を特定する手法 [1]、エッジを膨張させエッジの集まり具合を基にする手法 [2]、ナンバープレート部にはエッジの垂直成分が多いことから、エッジの垂直成分のみを検出し投影によりナンバープレート位置を特定する手法 [3]、またニューラルネットワークを用いた手法 [4]、ナンバープレートの配置規則を利用したテンプレートマッチングによる手法 [5]、などが提案されている。

文字抽出では、先に抽出したナンバープレート領域の2値画像をラベリングし、それぞれを文字認識する手法 [6]、可変閾値法により2値画像を作成し、事前情報から推定した文字の大きさから文字らしき領域を求める手法 [7]、多値テンプレートマッチングを用いた手法 [8]、文字の配置規則から最適となる候補を選択する手法 [2] などが提案されている。文字認識はOCRなどで盛んに研究が進められており、その技術を応用する例が多い。またナンバープレートの文字認識では、存在する文字が限られており、さらに文字形式が一樣であるために手書き文字認識等より比較的容易であると考えられる。2値画像のテンプレートマッチングを用いた手法 [7]、クロスカウント法とテンプレートマッチングによる手法 [9]、ニューラルネットワークを用いた手法 [6] などが挙げられる。

1.2 目的

本研究では、撮影条件にロバストで、コントラストが低い画像でも安定して高精度にナンバープレート認識が行えるシステムの設計を目指す。また、設置位置の制限を軽減するためにナンバープレートの大きさや、それに伴う文字の大きさに関する事前情報は利用しない。

第 2 章

提案手法

本章では，本研究で提案するナンバープレート認識の手法について述べる．提案手法の流れを図 2.1 に示す．

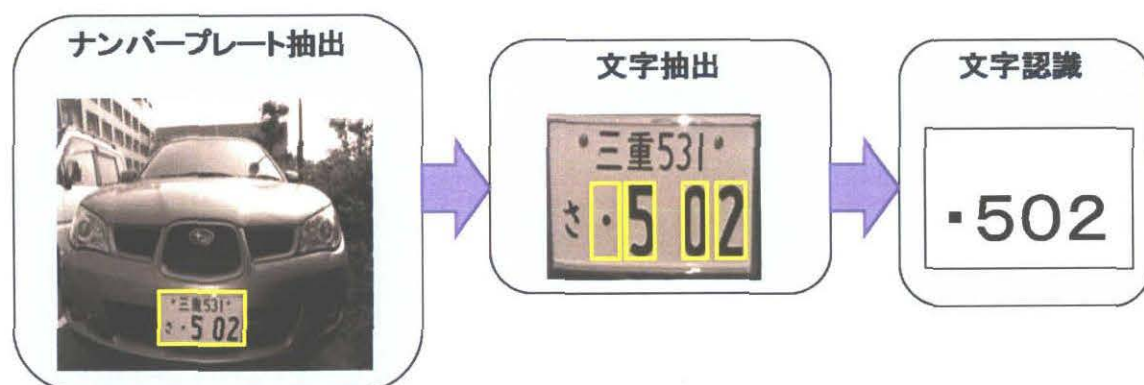


図 2.1: ナンバープレート認識の処理の流れ

入力画像からまずナンバープレートを抽出する．次に抽出されたナンバープレート画像から一連指定番号の領域を抽出し，それぞれに文字認識をすることで車両の特定を行う．

2.1 入力画像

本章で扱う入力画像は 1 枚のナンバープレートを含む 256 階調のグレースケール画像で，車両正面から撮影されたものである．ナンバープレートは一般車両（白，黄地のプレートに黒文字）と商業用車両（黒，緑地のプレートに白文字）を対象とする．また，画像中のナンバープレートの位置と大きさは任意である．入力画像は表 2.1 に示す撮影条件

グループ	車両の状況	時間帯	環境光	枚数
A	停止中	昼	順行	8
B	走行中	昼	順行	201
C	走行中	昼	逆光	200
D	走行中	昼	曇り	198
E	走行中	夜	雨	194
F	走行中	夜	晴れ	199

表 2.1: 入力画像のグループ

で撮影されている。

グループ B, E, F の画像では光源の反射によるハレーション、グループ E, F ではライトによるハレーションが起きている画像が含まれている。また、グループ C, D は光源不足により全体的に暗い画像となっている。撮影方法は、グループ A はデジタルカメラを使用して手動で撮影されたものがあるが、他の条件は CCD カメラを用いた撮像装置で自動的に撮影した画像である。入力画像の例を図 2.2 に示す。

2.2 ナンバープレート抽出

ナンバープレート部には、エッジの垂直成分が多く集まっている特徴を利用して、ナンバープレートの抽出を行う。図 2.3 にナンバープレート抽出手法の流れを示す。

まず、入力画像から 2 値エッジ画像を作成する。その 2 値エッジ画像の連結成分を膨張させマスク画像を作成し、2 値エッジ画像とマスク画像の重ね合わせによって候補領域を決定する。また、不適切な候補には領域の絞り込みをし、精度向上を図っている。以下でそれぞれの処理の詳細な説明を行う。

2.2.1 2 値エッジ画像作成

エッジ抽出

エッジの抽出には勾配に基づいた方法が一般的に用いられ、様々な勾配検出オペレータが存在するが、ここではエッジ幅が太く、滑らかで細かな雑音も少ない、 3×3 の Sobel オペレータ [10] を用いてエッジ抽出を行う。ただし垂直成分のみを抽出するために、垂直方向のオペレータは使用せず、水平方向のオペレータのみを用いてエッジを抽出する。

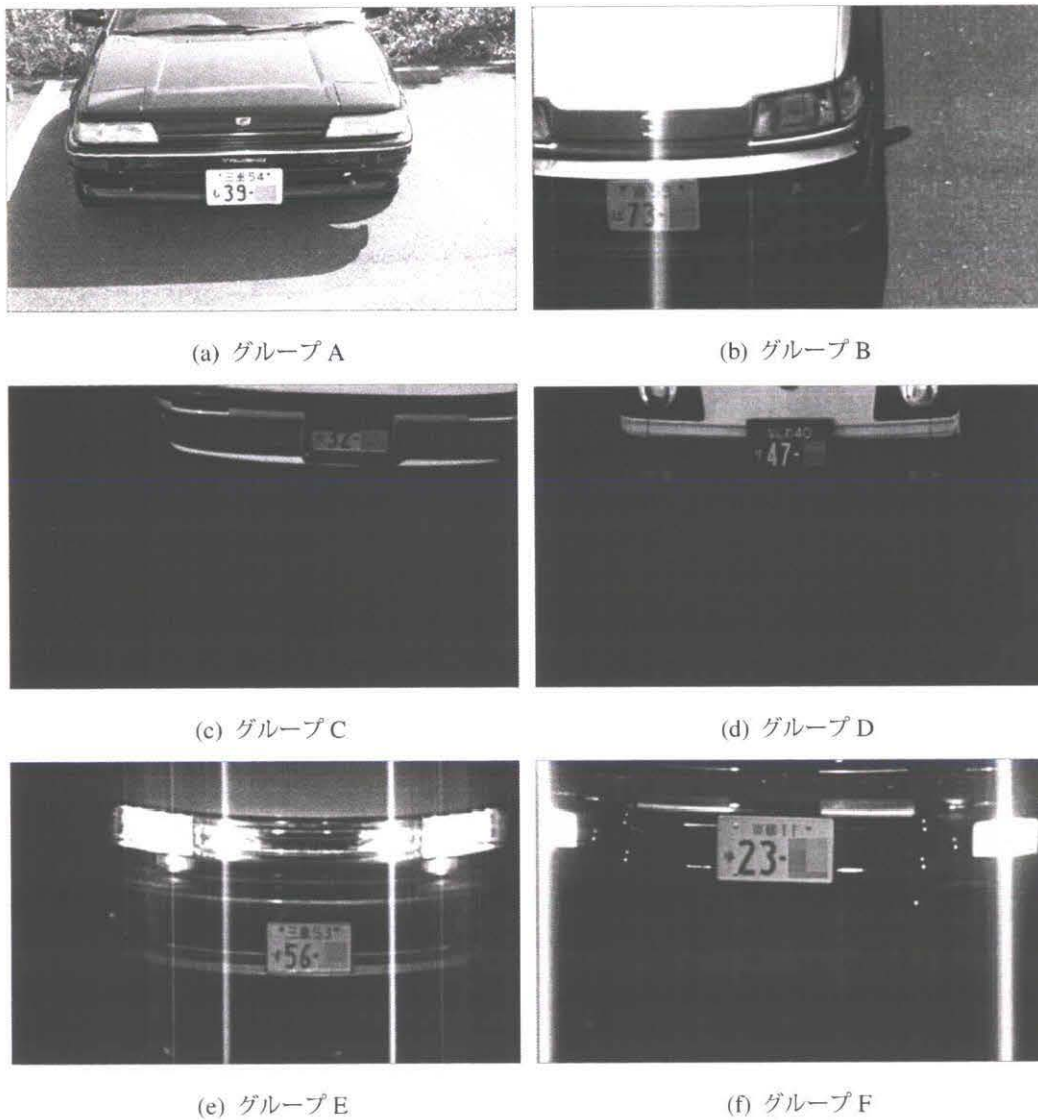


図 2.2: 入力画像例

3×3 の水平方向の Sobel オペレータ Δx は式 (2.1) で与えられる.

$$\Delta x = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

入力画像の例を図 2.4 に, エッジ抽出後の画像を図 2.5 に示す.

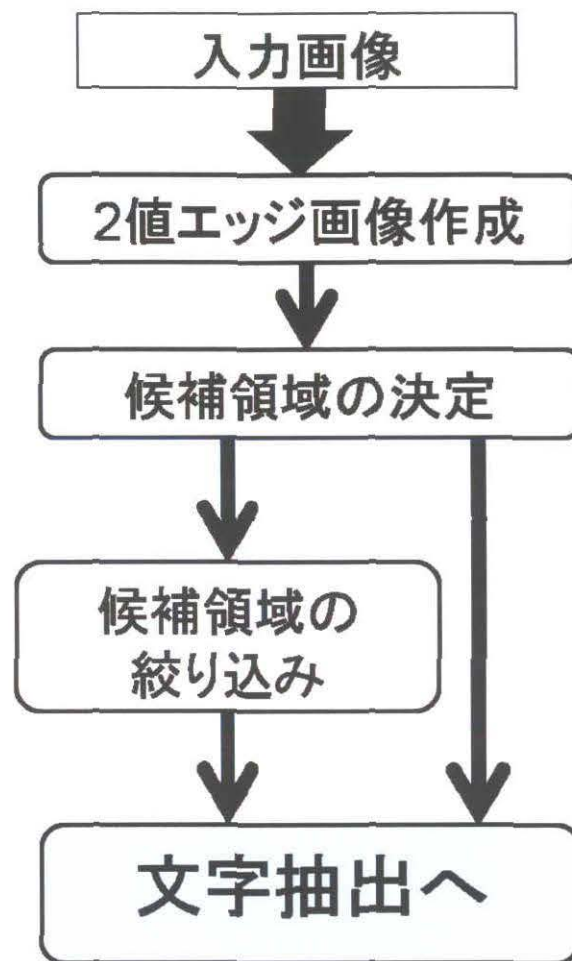


図 2.3: ナンバープレート抽出手法の流れ



図 2.4: 入力画像

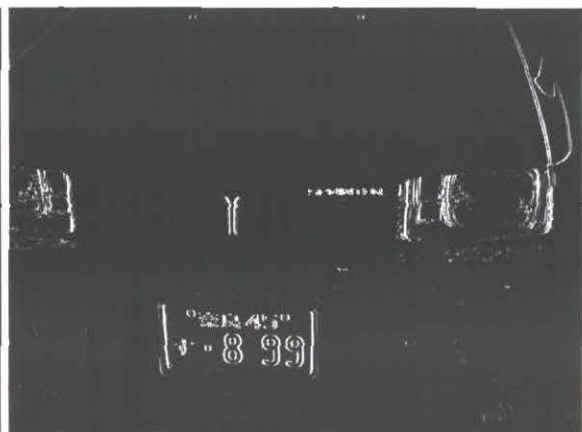


図 2.5: エッジ画像

2 値化

濃淡画像に対する 2 値化手法では、自動しきい値選択手法として判別分析法 [11] が一般的に用いられているが、エッジ画像のように全体的に暗い画素が多い画像を判別分析法で 2 値化した場合、全体的、低いしきい値で 2 値化が行われ、取り出したい対象以外がノイズとして多く現れることになる。そこでここでは、 p - タイル法を用いて 2 値化を行う。 p - タイル法とは切り出すべき対象図形の面積がほぼ S_0 に等しいものとして、画像全体の面積 S に対する比率を $p = S_0/S$ とし、濃度ヒストグラムにおいて濃度値が t 以上になる画素数が全画素数に対して p の割合になるように閾値 t を決める手法である。 p はパラメータであるが、実験により $p = 0.05$ とした。ただし、先にも述べたように濃度値 t が小さすぎると、ノイズの影響を受けやすいため t の最小値は 40 とする。2 値化処理後の画像を図 2.6 に示す。



図 2.6: 2 値エッジ画像

ノイズ除去

ここでのノイズとは、ナンバープレート部の連結成分以外の連結成分である。ナンバープレート抽出手法においてノイズは悪影響を及ぼす為、連結成分の面積と外接矩形に基づ

くノイズ除去を行う。連結成分の面積 S が次の条件のいずれかを満たす場合はその連結成分をノイズとみなし除去する。

1. $S > 5000$
2. $S < S_T$

ここでノイズの影響を小さくするため、画像に含まれる連結成分数が 200 以下となるように面積しきい値 S_T を決定するが、 S_T が 10 より小さい場合は $S_T = 10$ とする。ノイズ除去された画像を図 2.7 に示す。



図 2.7: ノイズ除去後

また図 2.8(a) に示すような、車両に光が反射した画像では、エッジ抽出すると図 2.8(b) のように縦に長い大きなノイズが現れてしまう。そこで残された連結成分の外接矩形の縦幅，横幅をそれぞれ H, W とし，

1. $H > 100$
2. $W > 200$

のいずれかを満たす場合もその連結成分をノイズとして除去する。その結果，図 2.8(c) に示すように，縦方向に大きく現れていたノイズは除去された。

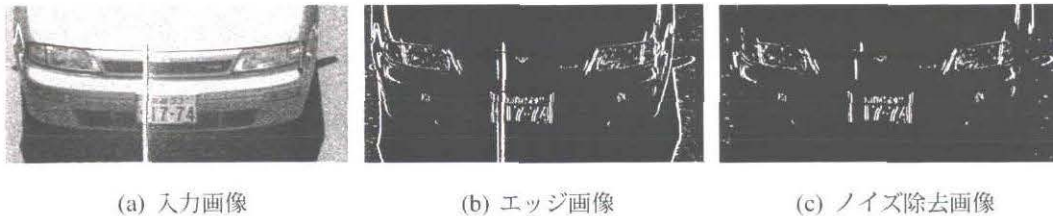


図 2.8: 反射画像へのノイズ除去

2.2.2 候補領域の決定

2 値エッジ画像作成によって得られた図 2.7 に含まれる連結成分を用いて、ナンバープレートの候補領域を決定する。領域選択のために、図 2.7 を図 2.9 に示す構造要素で膨張した連結成分をマスクとして使用する（図 2.10(a)）。

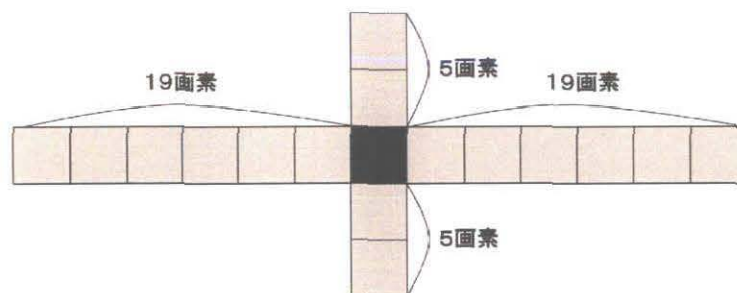


図 2.9: 膨張の構造要素

図 2.7 を一部拡大した画像を図 2.10(c) に、図 2.10(c) に対応するマスク画像を図 2.10(d) に示す。図 2.10(c) と図 2.10(d) を重ね合わせた結果を図 2.10(e) に示す。本手法ではナンバープレート部にはエッジの垂直成分が多いということに基づいているため、重ね合わせた後のマスク領域内に含まれる連結成分が多い順に、そのマスク領域をナンバープレート領域候補として決定する。候補領域はマスク領域内の連結成分の外接矩形となる。抽出したナンバープレートの候補を図 2.11 に示す。

2.2.3 候補領域の絞り込み

垂直エッジを用いた抽出手法では、本来のナンバープレート領域より大きく抽出されやすい弱点がある [3]。そのため一度候補として決定した領域を、より本来のナンバープ

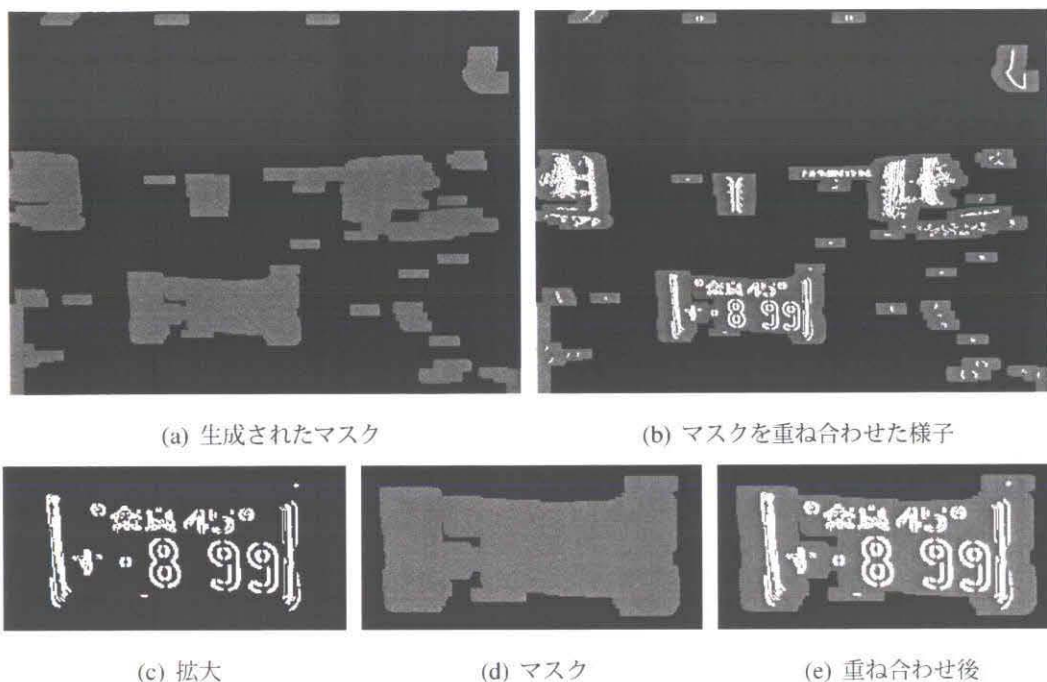


図 2.10: 候補領域の決定の様子



図 2.11: 抽出されたナンバープレート

プレート領域に近づけるために、候補領域の絞り込みを行う。規定によりナンバープレートの縦横比は、縦幅：横幅 = 1：2 であるが、得られた候補領域の縦横比がナンバープレートらしくない場合（縦幅 > 横幅，または横幅 > 縦幅 × 3）にこの処理の対象とする。

まず上下端を決定し、その上下端の情報を基に左右端を決定する。そうすることでナンバープレート部以外の背景を除去することができる。

上下端決定

候補領域を 3×3 の Sobel オペレータでエッジ抽出する。ここでも式 (2.1) で定義される水平方向のオペレータのみを用い、エッジの垂直成分のみを算出する（図 2.12(b)）。次に得られたエッジの画素値を水平方向に投影する（図 2.12(c)）。ここでの投影とはそれぞれの行の画素値を足し合わせることを表す。候補領域にナンバープレートが含まれている

時、投影図には2つの山が現れる。その2つの山の谷となる座標をモード法を用いて見つける。モード法とは、しきい値選択法的一种で、ヒストグラムに明確な谷ができる場合にその谷をしきい値として決定する手法である。そこから文字と推定される座標まで上下に切り取り、上下端を決定する。(図 2.12(d))

上下端決定処理を行う様子を図 2.12 に示す。

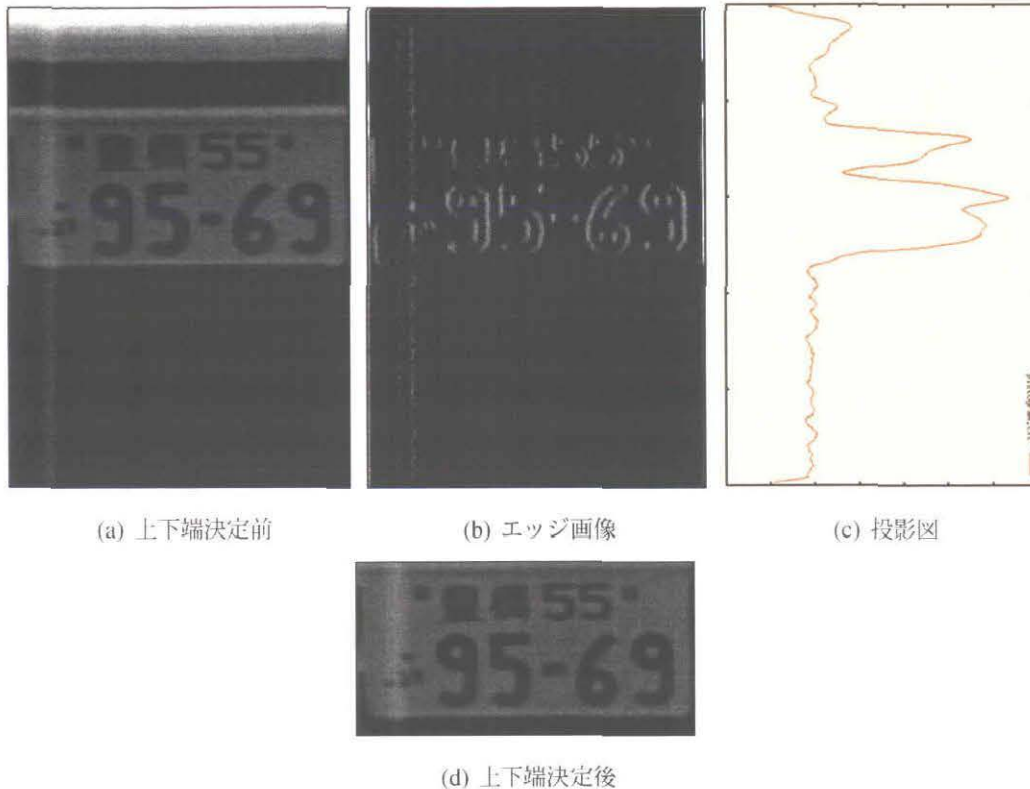


図 2.12: 上下端決定処理の様子

左右端決定

規定によりナンバープレートの縦横比は、縦幅 : 横幅 = 1 : 2 である。この特徴を利用し、垂直エッジ画像に、候補領域の縦幅を 1 とした時、横幅を 2 とする枠を設ける。(図 2.13(a)) その枠を横に走査していき、枠内のエッジ強度が最大となる枠をナンバープレート領域として決定する(図 2.13(b)).



図 2.13: 左右端決定処理の様子

2.3 文字抽出

ナンバープレート抽出処理で得られた、ナンバープレートを含む候補画像に対し、文字抽出処理を行う。ここでの入力画像例を図 2.14 に示す。

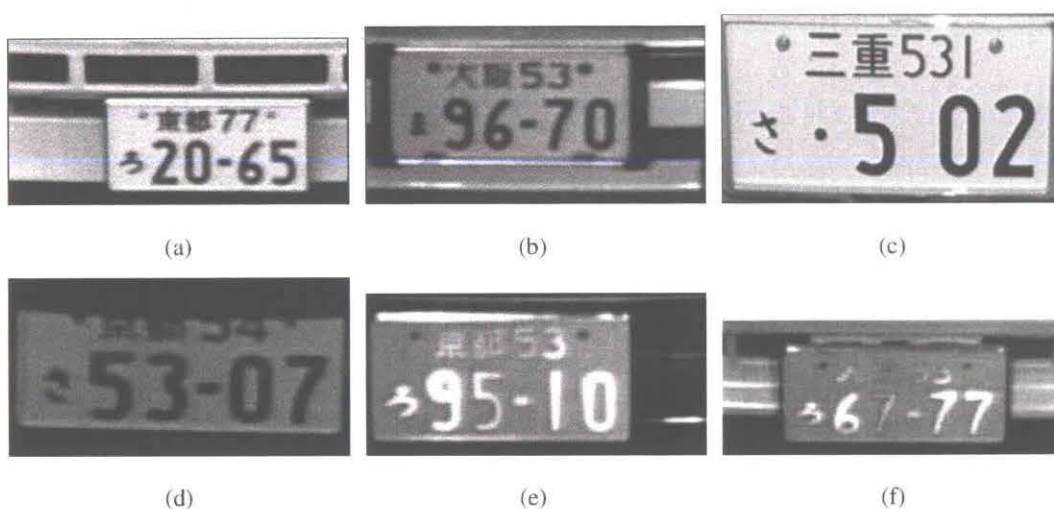


図 2.14: 文字抽出への入力画像

図 2.15 に文字抽出手法の流れを示す。

本手法では、まず前処理として 2 値画像を作成する。次にナンバープレートには陸支コードと分類番号、用途コードと一連指定番号の 2 行の文字列があるので、それを 2 行に分割して、そこから一連指定番号の高さを推定し、それに基づいて一連指定番号の抽出を行う。また一連指定番号も反射や汚れによって部分的に文字が消失するために、それを補完する手法を提案する。さらに抽出できた一連指定番号候補数が 0 の場合には 2 値画像作成時の 2 値化処理を変更し、再度文字抽出処理をやり直す。

以下でそれぞれの処理の詳細な説明を行う。

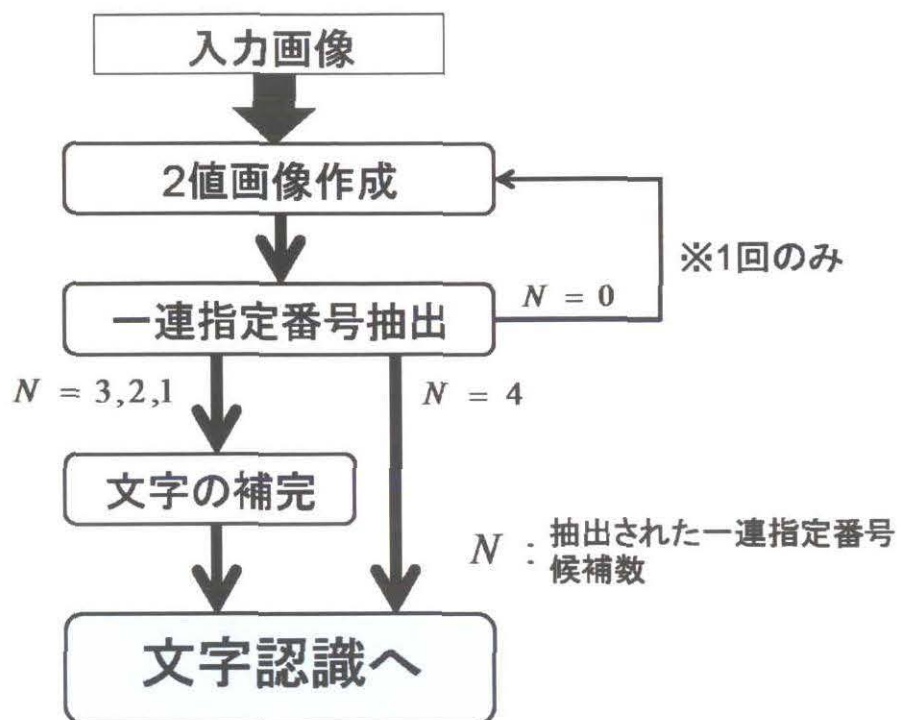


図 2.15: 文字抽出手法の流れ

2.3.1 2値画像作成

2値化

図 2.16(a) のようなナンバープレート部に影が落ちた画像を判別分析法の単一しきい値で2値化すると図 2.16(b) のように影の部分では文字がすべて潰れてしまう。そのため画像の局所的な明るさの変化に対応するために画像を小領域に分割し、それぞれで2値化しきい値を求める可変しきい値法を用いる。図 2.16(a) を可変しきい値法で2値化した画像を図 2.16(c) に示す。

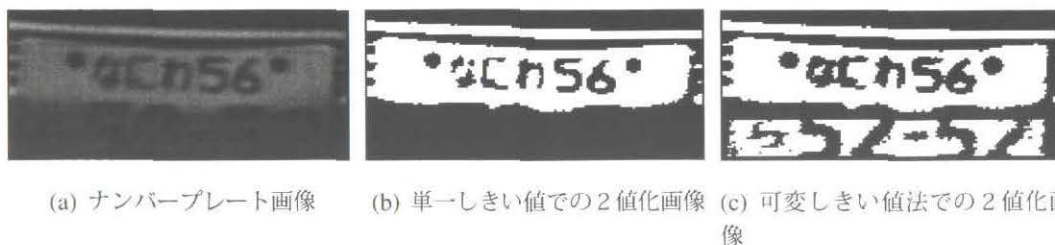


図 2.16: 単一しきい値と可変しきい値法での2値化

しかし分割によって局所的に2値化を行うと、分割領域の境界部分で2値化しきい値にズレが生じ、不自然なブロックノイズが現れてしまう。(図 2.17(a)) そこで周囲の 3×3 の領域のヒストグラムから判別分析法によって各領域のしきい値を求める。(図 2.17(b)) 周囲の領域の色情報を参照することによって、しきい値のズレを抑えることができ、ブロックノイズを軽減できる。(図 2.17(c))

またここでの分割数は予備実験により 10×10 とする。

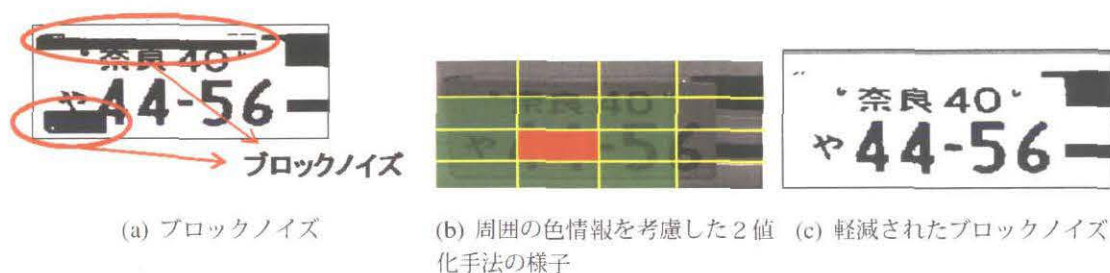


図 2.17: ブロックノイズの軽減

ここで、一般車両の白地のナンバープレートと2値化すると文字の色は黒になる。しかし商業用車両の黒地のナンバープレートを2値化すると、文字の色は白となり、処理の対象とすべき連結成分の色の違いによって、後で同じ処理が行えない。そこでここでは白地か黒地のどちらのナンバープレートかをパラメータとして与え、黒地のナンバープレートに関しては2値後に濃度値の反転を行う。そうすることによって文字の色が統一され、どちら種類のナンバープレートであっても今後同じ処理を行える。しかし実際には、このパラメータを与えることは不可能であるため自動でどちらのナンバープレートかを判別する必要がある。すべての入力画像に対し、黒を連結成分とする場合と白を連結成分とする場合、それぞれで処理を行い、文字認識の結果によって判別することが可能であると考え。

ノイズ除去

ここでのノイズとは、文字以外の連結成分である。ナンバープレート抽出処理時と同様にノイズは後の処理に悪影響を及ぼす為、除去する必要がある。しかし、影やプレートのゆがみの影響で2値化された画像では文字とナンバープレートの枠とが接触する例が多くある(図 2.18(a))。これらを分離するため、行の黒画素数が n 以上 ($n = \text{画像の横幅} \times 0.75$) ならばその行の画素を消去する(図 2.18(b))。その後、ラベリングを行い、連結成分の面積、外接矩形の縦幅、横幅、縦横比、外接矩形の面積に対する連結成分の面積によりノイズ除去をする。ノイズ除去後の画像を図 2.18(c) に示す。



図 2.18: ノイズ除去

2.3.2 一連指定番号抽出

文字列分割

得られた2値画像(図 2.19(a))を水平方向に投影する。ここでの投影とは横軸の(255-濃度値)の値を足し合わせることを表している。そうすると、投影図には図 2.19(b)に示すような2つの文字列の山が現れる。この2つの山の谷となる座標を求め、その座標で上下に分割すればナンバープレート上の2つの文字列を得ることができる。自動しきい値選択法である Kittler の手法を用いて、投影されたヒストグラムから谷となる座標を求める。Kittler の手法は式 (2.2) で定義される。以後この文字列を上下に分割する線をセンターラインと呼ぶ。センターラインで文字列を分割した様子を図 2.19(c) に示す。

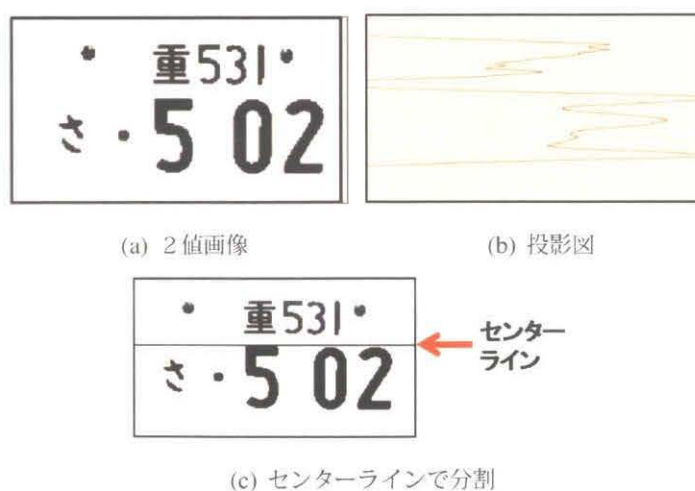


図 2.19: 文字列分割の様子

$$E(k) = \omega_0(k) \log \left(\frac{\sigma_0(k)}{\omega_0(k)} \right) + \omega_1(k) \log \left(\frac{\sigma_1(k)}{\omega_1(k)} \right) \quad (2.2)$$

$\omega_i(k)$ = 観測点 k におけるクラス i の要素の総数

$\sigma_i(k)$ = 観測点 k におけるクラス i の標準偏差

しかし図 2.20(a) のような、2 値画像作成の段階で上の文字列が消失してしまった画像を投影すると、ヒストグラムに 2 つの山が現れない。これを文字列分割すると一連指定番号を文字の中央で分割してしまう（図 2.20(b)）。このような例に対応するために、センターラインの行に 10 画素以上黒画素が存在するならばセンターラインを上へ押し上げる処理を行う。これによって本来分割すべき座標までセンターラインが移動する（図 2.20(c)）。

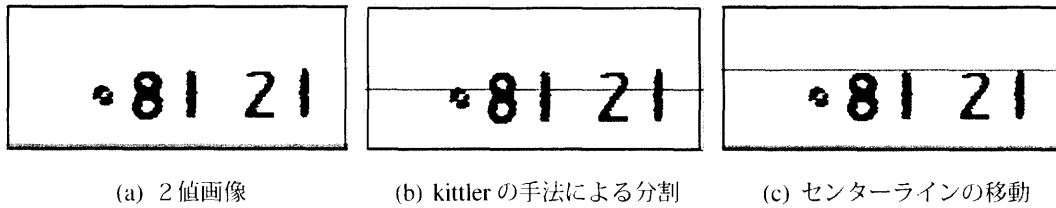


図 2.20: センターラインの移動の様子

一連指定番号の高さ推定

センターラインからナンバープレートの下部となる行（以後ボトムラインと呼ぶ）の座標を求め、センターラインとボトムラインとの差から一連指定番号の高さを推定する。水平投影して得られたヒストグラムをセンターライン l_0 でクラス 0 とクラス 1 に分割した際、クラス 1 の標準偏差 $\sigma_1(l_0)$ を求め、クラス 1 の平均 μ に $2\sigma_1(l_0)$ を足したものをボトムライン l_1 とする。ボトムラインの計算式は式 (2.3) で表される。そしてセンターライン l_0 とボトムライン l_1 の差を一連指定番号の高さと推定する。一連指定番号の高さ推定の様子を図 2.21 に示す。

$$l_1 = \mu + 2\sigma_1(l_0) \quad (2.3)$$



図 2.21: 一連指定番号の高さ推定の様子

一連指定番号候補の決定

推定した一連指定番号を基に一連指定番号候補を決定する。センターラインより下の連結成分をラベリングし、推定した一連指定番号の高さに近いものから順に最大4つの連結成分を得て、一連指定番号候補とする。ただし連結成分の高さが、推定した一連指定番号の高さ ± 10 画素以上離れている場合は、一連指定番号候補から除外する。一連指定番号を抽出した結果を図 2.22 に示す。



図 2.22: 抽出された一連指定番号

2.3.3 文字の補完

一連指定番号抽出の結果、一連指定番号候補が4つ得られない場合がある。それは次のいずれかの場合、もしくは両方の場合である。

1. 一連指定番号に“.”を含み、元々その数の数字で構成されている。
2. 2 値化やノイズ除去の処理により消失した。

2. の場合は当然ながら消失した文字を補完する必要がある。また、1. の場合でも文字認識ステップでの処理を考えると“.”を抽出することが望ましい。そこでナンバープレートの文字の配置規則が厳格に定められていることに基づき、文字の補完を行う。補完は得られた一連指定番号候補の数によって、異なった処理を行う。以下にそれぞれの処理の詳細な説明を記す。

3 文字からの補完

3 文字の一連指定番号候補の文字配置は次の 4 つのパターンである。

- (1). 最も左の文字が消失
- (2). 左から 2 番目の文字が消失
- (3). 左から 3 番目の文字が消失
- (4). 最も右の文字が消失

得られた一連指定番号候補の配置がこのうちのどのパターンか特定することで、ナンバープレートの文字配置規則より消失した文字を補完することができる。

一連指定番号候補を左から順に、 A 、 B 、 C とし、 x 方向の A と B との距離を d_{AB} 、 B と C との距離を d_{BC} とする。ここで、 $R = \frac{d_{AB}}{d_{BC}}$ とすると、ナンバープレートの文字配置規則でそれぞれのパターンの R の値は、(1) $R \doteq 1.55$ 、(2) $R \doteq 2.55$ 、(3) $R \doteq 0.39$ 、(4) $R \doteq 0.67$ となるので、求めた R の値とそれらの差が最も少ないパターンに分類する。そして、判別したパターンの、消失している文字位置を一連指定番号候補として抽出する。3 文字からの補完の様子を図 2.23 に示す。

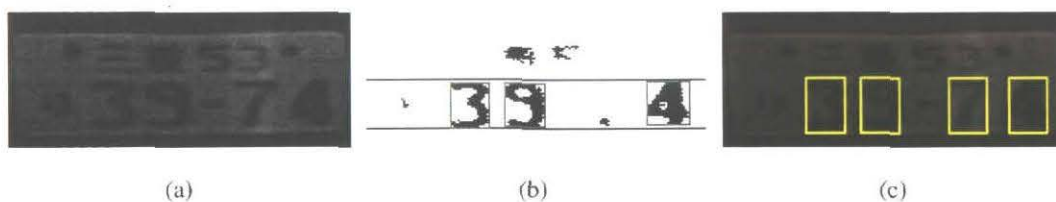


図 2.23: 3 文字からの補完の様子

2 文字からの補完

2 文字の一連指定番号候補の文字配置は次の 6 つのパターンである。

- (1). 右側 2 つの文字が消失
- (2). 左側 2 つの文字が消失
- (3). 左から 1 つ目, 3 つ目の文字が消失
- (4). 左から 2 つ目, 4 つ目の文字が消失
- (5). 中央 2 つの文字が消失
- (6). 端 2 つの文字が消失

3 文字からの補完と同様に, 得られた一連指定番号候補の配置がこのうちのどのパターンか特定することで, ナンバープレートの文字配置規則より消失した文字を補完することができる。

一連指定番号候補を左から順に A, B とし, x 座標において A と B との距離を d_{AB} とする。また一連指定番号候補 2 つの横幅の最大値を w とする。ここで $R = \frac{d_{AB}}{w}$ とすると, ナンバープレートの文字配置規則でそれぞれのパターンの R の値は, (1),(2) $R \cong 1.375$, (3),(4) $R \cong 3.5$, (5) $R \cong 4.875$, (6) $R \cong 2.125$ となるので, 求めた R の値とそれらの差が最も少ないパターンに分類する。(5), (6) については消失した文字位置を一意に決定できる。しかし, R の値だけでは (1) と (2), (3) と (4) を区別することができない。そこで「(1) もしくは (2)」, 「(3) もしくは (4)」と判別されたものについては, さらにどちらのパターンであるか特定する必要がある。そこで, 文字配置がそれぞれのパターンであると仮定したときの, 一連指定番号の位置から推定されるナンバープレート上のすべての文字位置に文字枠を作成する。それを 2 値画像に当てはめた時, 文字枠内の画素数の合計が多い方のパターンに文字配置を決定し, その文字枠の一連指定番号部を一連指定番号候補として抽出する。2 文字からの補完の様子を図 2.24 に示す。

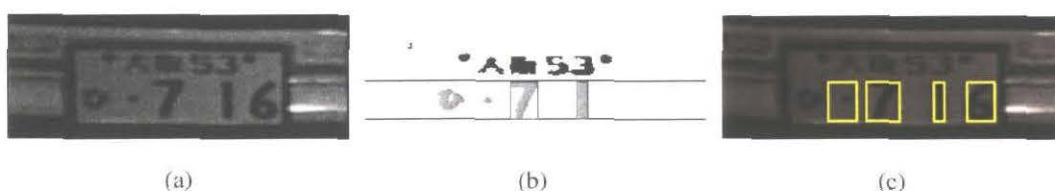


図 2.24: 2 文字からの補完の様子

1 文字からの補完

1 文字の一連指定候補のみが得られたときは, 2 値画像作成の段階でほとんどの他の文字が失われているために, 3 文字や 2 文字からの補完のように文字の配置規則から補完することは難しい。そのため 1 文字からの補完の場合には, まず得られた一連指定番号候補の縦幅から範囲を限定して 2 値化を行うことで, 文字の連結成分を復元する。その中から

再度一連指定番号候補を抽出し，そこで得られた候補と最初の候補を組み合わせ，一連指定番号候補として抽出する．

それが3文字，2文字の場合には3文字からの補完，2文字からの補完を行う．しかし新たな一連指定番号候補を得られず，再び1文字しか候補が得られなかった場合は，それが4つの一連指定番号のどの位置にあたるかを特定する必要がある．そこで，一連指定番号候補が4つそれぞれの文字位置であると仮定したときの，そこから推定されるナンバープレート上のすべての文字位置に文字枠を作成する．それを2値画像にあてはめた時，最も文字枠内の画素数が多くなるもので枠を固定し，その一連指定番号部を一連指定番号候補として抽出する．1文字からの補完の様子を図2.25に示す．

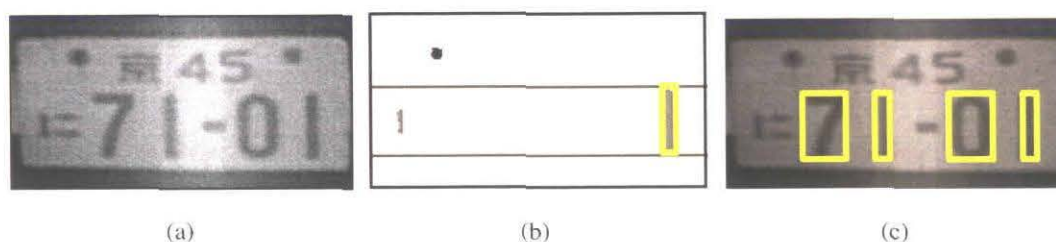


図 2.25: 1文字からの補完の様子

2.3.4 失敗画像に対する処理

一連指定番号候補がひとつも抽出されなかった場合，2値画像作成での2値化手法を変更し，再度一連指定番号抽出を行うことで，失敗画像のリカバリを図る．

2値化範囲の限定

図2.26(a)のような黒地のナンバープレートで夜に撮影された画像では，背景がナンバープレート部に対して暗すぎるために，2値化して白黒反転すると，図2.26(b)のように背景とナンバープレートの境界で文字部だけでなくナンバープレート部すべてが黒画素になり，その影響でノイズが増え，抽出に失敗する例が多数あった．(図2.26(c))それに対応するために，まず画像を判別分析法の単一しきい値で2値化し，白黒の反転を行う．そうすると図2.26(d)のように背景が白，ナンバープレート全体が黒の2値化が行われる．これによっておおよそ背景とナンバープレート部を分けることができる．次に図2.26(d)の画像で黒画素となった領域のみで2値画像作成を行う．その結果を図2.26(e)に示す．その後もう一度一連指定番号抽出を行うと，図2.26(f)のように一連指定番号を抽出できる．

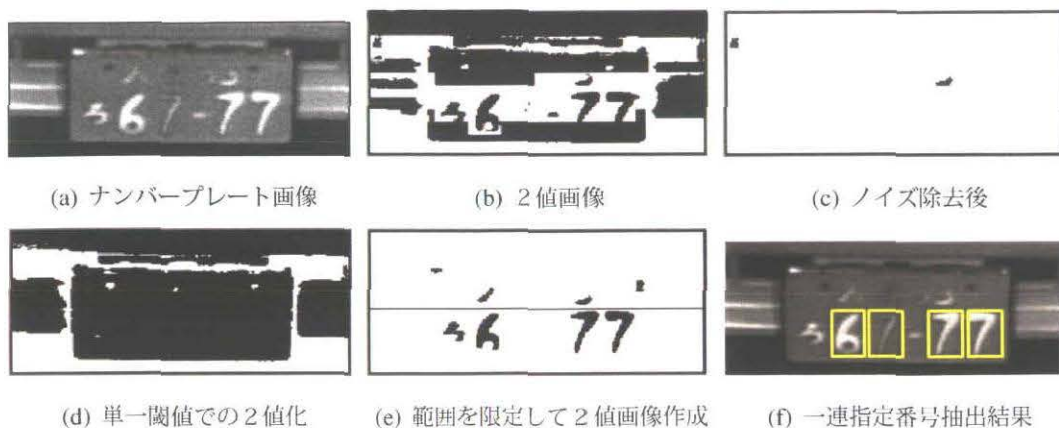


図 2.26: 失敗画像に対する処理

2.4 文字認識

文字抽出で得られた各文字領域の画像を入力画像とする。まず前処理として、判別分析法で2値化し2値画像を得る。それに対し、文字認識を行うことで車両を特定する。文字認識のための特徴ベクトルには濃度勾配特徴を用い、識別、分類には疑似ベイズ識別関数を用いる [12]。

2.4.1 特徴抽出

濃度値勾配法による特徴抽出の流れを以下に示す。

1. 2値画像に外接枠・重心合せによる位置・大きさの正規化を行う。
2. 全画素に 2×2 の平均値フィルタ処理を n 回行うことで、実数値をとる濃度値画像を得る。
3. 濃度値画像の濃度値の平均が 0、最大値が 1 となるように画像を正準化する。
4. 正準化画像に対して Roberts フィルタを適用し、勾配の向きと強さを求める。
5. 得られた勾配の方向を $\pi/16$ 刻みの 16 方向に量子化する。
6. 文字の外接枠を小領域に分割し、各領域内で量子化した方向別にエッジ強度の値を加算して局所方向ヒストグラムを得る。
7. このヒストグラムに対して、方向別に重なりのある 2 次元ガウスフィルタを施す。

本研究では、画像の分割数を 5×5 とし、16 方向で量子化するため $5 \times 5 \times 16 = 400$ 次元の特徴ベクトルを抽出した。

2.4.2 識別関数

特徴抽出手法によって得られる特徴ベクトルの識別・分類には疑似ベイズ識別関数を用いる。疑似ベイズ識別関数は、共分散行列が未知の正規分布に対するベイズ識別関数から導かれる。ベイズ識別関数は次式で与えられる。

$$g_l(X) = (N_N + 1) \ln \left\{ 1 + \frac{(X - M_l)^T \sum_{N_l}^{-1} (X - M_l)}{N_N} \right\} + \ln |\sum_{N_l}| - 2 \ln P(\omega_l) \quad (2.4)$$

ただし、

$$N_N = N + N_0$$

$$\sum_{N_l} = (1 - \alpha) \sum_l + \alpha \sum_0$$

$$\alpha = \frac{N_0}{N + N_0}$$

ここで、 l はクラスに関する添字、 N は各クラスの学習サンプル数、 M_l は母集団の平均ベクトル、 \sum_l は標本共分散行列、 \sum_0 は事前分布の共分散行列で、 N_0 は \sum_0 の信頼度を表す定数で信頼度定数と呼ぶべきものである。なお、サンプル数 N および \sum_0 、 N_0 は各クラスに共通とする。また、以後、クラスに関する添字 l は省略する。特徴ベクトル X の事前分布として球状分布を仮定して $\sum_0 = \sigma^2 I$ とし、計算量・記憶容量を削減するため式 (2.4) を変形すると次式の疑似ベイズ識別関数が得られる。

$$g(X) = (N + N_0 + 1) \ln \left[1 + \frac{1}{N_0 \sigma^2} \left\{ \|X - M\|^2 \sum_{i=1}^k \frac{\lambda_i}{\lambda_i + \frac{N_0}{N} \sigma^2} \Phi_i^T (X - M)^2 \right\} \right] \\ + \sum_{i=1}^k \ln \left(\lambda_i + \frac{N_0}{N} \sigma^2 \right) - 2 \ln P(\omega) \quad (2.5)$$

ここで、 λ_i 、 Φ_i はそれぞれ共分散行列 \sum_l の第 i 固有値と第 i 固有ベクトル、 k は識別に用いる固有ベクトルの数である。また、実際の計算では M は標本平均ベクトルで代用する。 σ^2 は X の事前分布を球状分布と仮定した場合の分散で、その値として、全字種、全固有値の平均を用いる。加重方向指数ヒストグラムは物理的に同一種類の特徴によって構成されているため、事前分布を球状分布と仮定する。

第 3 章

実験と考察

提案手法の精度評価実験を行った。以下では

1. ナンバープレート抽出
2. 文字抽出
3. 文字認識

のそれぞれのステップでの実験と考察について述べる。

3.1 ナンバープレート抽出

ナンバープレート抽出の提案手法について表 2.1 に示した様々な撮影条件の車両画像を入力画像として用いて実験を行い、抽出した領域にナンバープレートが含まれているかどうかの評価を行った。以下に示す成功の定義を満たしていれば、成功とする。

1. 候補画像にナンバープレートの文字部分が全て含まれている。(図 3.1(a))
2. ナンバープレートの文字部分の面積を A_t 、抽出された領域の面積を A_d とすると、 A_d が A_t の α 倍以下である。(図 3.1(b))
$$A_d \leq \alpha A_t$$

ここで α とは許容誤差であり、 α が大きい程、真のナンバープレート領域より大きく抽出したものを許容することになる。 α が後の文字抽出や文字認識に与える影響を検討した結果、 α が 4 以下ならばほぼ影響を与えず処理できることがわかったので、ここでは $\alpha = 4$ とする。表 3.1 に実験の結果を示す。表中の RANK とは抽出するナンバープレート候補の数である。RANK3 ならば第 1 候補から第 3 候補までを評価対象とした時の累積成功率を表している。



(a) 定義 1



■ A_t
■ A_d

(b) 定義 2

図 3.1: 成功の定義

グループ	RANK1	RANK2	RANK3
A	25.0%	62.5%	75.0%
B	50.2%	94.5%	97.0%
C	82.5%	95.5%	95.5%
D	69.7%	88.3%	94.4%
E	55.7%	86.6%	90.7%
F	66.8%	85.9%	89.4%
計	64.7%	90.0%	93.3%

表 3.1: ナンバープレート抽出実験結果

第 1 候補のみを評価対象とした場合の抽出精度は 64.7%であるが、第 3 候補までを対象とすると 93.3%まで向上する。複数の候補を得ることで成功率を向上させれる。ここでいくつの候補を得ればよいかという議論になるが、

1. 間違った候補は棄却できる。
2. 全ての入力画像で、ナンバープレートまたはナンバープレートの一部は第 3 候補までに含まれていた。

以上の点からナンバープレート抽出としては第3候補までを得ればよいと考える。

図 3.2 と図 3.3 にナンバープレート抽出の失敗例を示す。



図 3.2: 失敗例 1



図 3.3: 失敗例 2

失敗例には、2値エッジ画像作成で2値化時のしきい値選択やノイズ除去によって文字の成分が消失し、適切なマスクが得られず、ナンバープレートが分断されてしまった例（図 3.2）や、膨張によるマスク作成で周囲のノイズと文字の成分が結合し、真のナンバープレート領域に対して候補領域が大きくなりすぎる例（図 3.3）があった。

次に提案手法の有効性を示すために、従来手法 [2] と比較する。従来手法の処理の流れについて説明する。従来手法では入力画像に対し、まず平滑化を行う。次に平滑化された画像からエッジ抽出を行い、境界線を抽出する。本手法では、エッジの垂直成分のみを抽出しているのに対し、従来手法では水平、垂直成分共に抽出している。そしてノイズ除去をした後に p -タイル法による2値化を行い2値エッジ画像を得る。その後、膨張によりマ

グループ	従来手法	提案手法
B	97.0%	97.0%
C	87.0%	95.5%
D	95.0%	94.4%
E	88.0%	90.7%
F	86.0%	89.4%
計	90.6%	93.3%

表 3.2: 従来手法との比較

スクを作成し本手法と同様に候補領域を決定する。また、本手法のような候補領域の絞り込みは行われていない。表 3.2 に比較結果を示す。

従来手法の結果と比較するために、[2] で評価に使用されたデータのみを用いている。従来手法と比べ提案手法の方が全体として 2.7%精度が高かった。グループごとの精度を比較すると、グループ D では提案手法が 0.6%低い。他のグループでは変わらないか提案手法の方が精度が高い。特にグループ C では 8.5%と大幅に提案手法が上回っている。これは、グループ C は逆光で撮影された画像のため影が落ちたり全体的に暗い画像が多く、エッジが得にくい。従来手法では平滑化した後にエッジ抽出を行っていたためさらにナンバープレート部のエッジが失われていた可能性がある。提案手法では平滑化を行わずエッジ抽出するために、その点が精度が大幅に上回った要因だと考えられる。また夜に撮影されたグループ E, F でも提案手法がそれぞれ 2.7%, 3.4%上回っている。この要因として候補領域の絞り込みが挙げられる。夜に撮影された画像では補助光の反射によって、ノイズとなるエッジが多く現れ、マスク作成により真のナンバープレート部より広い範囲を抽出してしまっていた。提案手法ではそれを絞り込むことによって従来手法の精度を上回ったと考えられる。

3.2 文字抽出

一連指定番号の文字抽出手法の精度評価実験を行った。ここでの入力画像には図 2.14 で示した、ナンバープレート抽出後の画像を用いる。入力画像は計 933 枚あり、その内訳は表 3.3 の通りである。

成否の判定は目視で行い、4 桁の一連指定番号全てが抽出されていれば成功とした。表 3.4 に実験の結果を示す。

全体で 97.0%という高い精度を実現した。またグループごとの成功率をみると、グループ A で 100.0%、グループ D で 99.0%という成功率が得られ、またグループ E や F のよ

グループ	車両の状況	時間帯	環境光	枚数
A	停止中	昼	順行	6
B	走行中	昼	順行	195
C	走行中	昼	逆光	191
D	走行中	昼	曇り	187
E	走行中	夜	雨	176
F	走行中	夜	晴れ	178

表 3.3: 文字抽出の入力画像のグループ

グループ	成功数	成功率
A	6/6	100.0%
B	191/195	97.9%
C	185/191	96.9%
D	185/187	99.0%
E	168/176	95.5%
F	170/178	95.5%
計	905/933	97.0%

表 3.4: 文字抽出実験結果

うな悪条件下でも大きな精度低下はなく，成功率は 95.5%であった。

3.3 文字認識

文字認識手法の精度評価を行った。文字抽出によって得られた文字領域を 2 値化したものを入力に用いる。評価方法は，全サンプルを 5 分割し，4 組は学習用に使用し，残り 1 組で評価をとる，それを 5 組すべてに行う方法を用いた。ここではナンバープレート上の一連指定番号全ての認識が正しく行われた時の成功率を一連指定番号認識成功率，文字単位での成功率を文字認識率とした。表 3.5 に実験の結果を示す。

一連指定番号認識率		文字認識率	
成功数	成功率	成功数	成功率
739/743	99.5%	2965/2972	99.8%

表 3.5: 文字認識実験結果

一連指定番号認識率で 99.5%，文字認識率では 99.8%と非常に高い成功率が得られた。提案手法は OCR の分野で実用化されている手法であるが，ナンバープレート認識にも適用できることがわかった。少ない失敗例では“・”を“1”と誤認識してしまった例や，2 値化で文字の一部が消失してしまい，“2”を“7”と誤認識した例があった。

第 4 章

むすび

4.1 まとめ

本研究では，提案手法を用いてナンバープレート認識の高精度化を行った．

- ナンバープレート抽出では，エッジの垂直成分の利用，候補領域の絞り込みによって，従来手法を上回る精度での抽出が可能となり，抽出精度は 93.3%であった．
- 文字抽出では，2 値化手法の工夫，一連指定番号の高さ推定，文字の補完によって，様々な条件下で撮影された画像に対して安定した一連指定番号の抽出を実現した．文字抽出精度は 97.0%であった．
- 文字認識では，OCR の分野で利用されている技術をナンバープレートの一連指定番号認識に適用し，その有効性を示した．一連指定番号認識率は 99.5%であった．

4.2 今後の課題

本研究では，一連指定番号の認識のみを行ったが，その位置情報等の情報を基にその他の文字についても抽出，認識を行い精度を評価する必要がある．

また，ナンバープレート抽出，文字抽出，文字認識を独立したステップとして考えるのではなく，ナンバープレート認識全体を通して実験を行うことで更なる高精度化を図る．具体的には，文字抽出で抽出されたに文字認識を行った結果，文字らしくないと判断された場合には，ナンバープレート抽出のパラメータを変更し再度ナンバープレート抽出を行うというループ構造にする．これによって固定パラメータで行っていた処理を可変にできると考えられる．評価についてもナンバープレート認識全体での評価をとる必要がある．

謝辞

本論文に関し、適切な御助言、御指導を頂きました木村文隆教授，若林哲史准教授，大山航助教に深く感謝致します。また日々お世話になりました田中みゆき事務官にお礼申し上げます。

さらに，研究のみならず様々な協力を頂きましたヒューマンインタフェース研究室の先輩方，同期の仲間達，後輩達にも深く感謝致します。この3年間は私にとって，とても有意義なものとなりました。

最後になりましたが，私をここまで支えてくれたすべての人と両親に感謝を表しまして，本論文の結びと致します。

参考文献

- [1] 安居院猛, 崔亨振, 中嶋正之: “画像処理を用いたナンバープレート領域抽出に関する研究”, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.70-D, No.3, pp.560-565, (1987)
- [2] Shi Meng: “License Plate Recognition Using Associative Matching Based on Clique-Finding”, IAPR Workshop on Machine Vision Applications, pp.71-74, (2000)
- [3] 沢田裕司, 中村三津明, 住田智昭, 川中誠道, 斎鹿尚史, 北村義弘: “ナンバープレート認識装置の開発”, 電子情報通信学会技術研究報告. PRMU, パターン認識・メディア理解, 96(141), pp.65-72, (1996)
- [4] 藤吉弘亘, 梅崎太造, 今村友彦, 金出武雄: “ニューラルネットワークによるナンバープレート位置検出”, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J80-D-2, No.6, pp.1627-1634, (1997)
- [5] 田邊勝義, 川島晴美, 丸林栄作, 仲西正, 塩昭夫, 大塚作一: “部分文字列の配置規則を考慮したナンバープレート領域抽出”, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J81-D-2, No.10, pp.2280-2287, (1998)
- [6] 岡本直樹, 梅崎太造, 能勢隆: “車両搭載型ナンバープレート認識システム-動画画像を用いた撮像環境にロバストなナンバープレート認識”, 画像ラボ, Vol.16, No.1, pp.40-44, (2005)
- [7] 内藤高志, 塚田敏彦, 山田啓一, 山本新: “環境の明るさにロバストな走行車両のナンバープレート認識”, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J81-D-2, No.9, pp.2019-2026, (1998)
- [8] 高橋裕子, 田中久子, 鈴木章, 塩昭夫, 大塚作一: “多値テンプレートマッチングを用いたナンバープレート認識法”, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J87-D-2, No.7, pp.1451-1461, (2004)
- [9] 篠原洋介, 船曳信夫, 川島潤, 竹内順一, 石崎雅幸: “クロスカウントとテンプレートマッチングによるナンバープレート認識法”, 電子情報通信学会技術研究報告. PRMU, Vol.104, No.573, pp.39-44, (2005)
- [10] 編著 田村秀之: “コンピュータ画像処理”, オーム社

- [11] 大津展之：“判別および最小 2 乗基準に基づく自動しきい値選定法”，電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J63-D, No.4, pp.349-356, (1980)
- [12] 若林哲史, 鶴岡信治, 木村文隆, 三宅康二：“特徴量の次元数増加による手書き数字認識の高精度化”，電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J77-D-2, No.10, pp.2046-2057, (1994)