研 究 報 文

すき入れの位置検出方法に関する研究

大蔵省印刷局研究所 喜 多 野 澄

Studies on Detection of Position of Watermark

Kiyoshi Kitano

Research Institute of Printing Bureau, Ministry of
Finance

An image processing method to detect the position of a watermark is proposed. This is one of methods utilizing pattern matching techniques. One of its characteristics is to make a watermark in an input image included within limits of a reference image, whenever the reference image as a template shifts. Then, the position of a watermark in an input image can be detected by finding points where the convolution between an input image and a reference image has a maximum value, if all pixel values of the part except for a watermark in an input image are zero. The other characteristic is that a multi-level image is made by adding bi-level images after erosion.

After each of two bi-level images drawn by a computer, i. e. an input image and a reference image, was turned into a multi-level image, the convolution between these two multi-level images is implemented whenever the reference image shifts. Results of a computer simulation make it clear that the new method utilizing the convolution between two multi-level images makes the distribution of points where the convolution has a maximum value narrower than the conventional method utilizing the convolution between two bi-level images. Experimental results with an input image captured by an image sensor camera agree with those of a computer simulation. Therefore, it is found that the new method improves the precision of the position detection of a watermark compared to conventional methods.

Keywords : Watermark, Detection of position, Multi-level image, Convolution

1. 緒 言

すき入れは、紙を透かしてみたとき現れる模様のことであるが、手すきや円網のすき網及びダンディ・ロールの金網に希望の模様の凹凸を付けたものですいたり、プレスパートなどで凹凸模様のあるロールで湿紙

をプレスすることによって作成される¹⁾。紙に凹凸を付けて紙厚などを変化させると、紙を透過する光量に変調されるため、紙を透かしてみたとき明るく見える部分と暗く見える部分が現れる。したがって、紙厚などを多段階に変化させて濃淡画像的なパターンのすき入れを作成したり、紙厚などを二段階にして文字やマ

ークなどの二値画像的なパターンを作成することが可能である。

本研究の目的は、紙厚などを多段階に変化させて作成した濃淡画像的なすき入れパターンの位置を、その近傍に配置した二値画像的なすき入れパターンの位置から間接的に求めることである。これは、濃淡画像的なすき入れパターンの濃度（明度）は用紙ごとに微妙に異なるため、その位置を濃淡画像から直接求めようとすると、画像処理が複雑になったり、十分な精度が得られないことがあるという理由に基づく。一方、二値画像的なすき入れパターンの場合、濃度が用紙ごとに微妙に異なっても、二値化する閾値を適切に設定することにより、比較的容易にすき入れパターンと背景を分離することが可能であるからである。配置する二値画像的なすき入れパターンの数は、濃淡画像的なすき入れパターンのサイズや回転ずれなどの補正を考慮するかどうかによって依存する。これらの補正を考慮しない場合は一箇所でもよいが、考慮する場合は三箇所に配置する必要がある。これは、二値画像的なパターンのすき入れをあらかじめ三箇所に配置しておけば、基準点の検出、縦及び横方向の距離計測、回転角の計測を同時に行えるため、濃淡画像の位置合わせやサイズ補正、回転ずれの補正が可能になるという理由に基づく。しかし、配置する数が一箇所あるいは三箇所であっても、一つ一つのすき入れの位置を精度良く検出することが基本となるため、本研究では、一つの二値画像的なすき入れパターンの位置検出方法を検討する。

ところで、画像処理によってパターンの位置を求めたり、パターンの切り出しを行う例としては、濃度投影によるもの²⁻⁶⁾やパターンマッチングを応用したもの⁷⁻⁸⁾などが報告されており、対象となるパターンは、車両番号や半導体の集積回路、ポンプの配管など多岐に渡る。また、パターンマッチングを応用した方法については、相関法⁹⁾や残差逐次検定法¹⁰⁾、モーメント量によるマッチング法¹¹⁾、二段階テンプレートマッチング法¹²⁾などが提案されている。このうち、濃度投影による方法をすき入れの位置検出に応用しようとする、二値画像的なパターンが濃淡画像の内部に存在していたり、あるいはそれに近接している場合、パターンの切り出しが困難になることがある。また、紙の地合いなどによる濃度のばらつきがあると濃度投影値が変化するため、測定精度に影響することがある。そこで、このような問題点を改善するために、二値画像のパターンマッチングを応用した方法が検討されてきたが、この方法では、紙厚変動などの影響を受けるとパターンの形状が変化することがあり、精度良く位置を

検出することが困難になる場合がある。本研究では、すき入れ位置の検出精度を向上させるために、二値画像に対して侵食処理を複数回を行い、侵食処理後の二値画像を加算して多値画像を作成し、多値画像同士の積和演算によって位置検出を行う方法を開発したので、その方法及び結果について述べる。

2. 理 論

すき入れの位置は、紙を透過した光の強弱によって形成される画像をイメージセンサカメラで入力し、基準パターンとのマッチングを行うことによって求めることができる。図1に、すき入れの位置検出を行う装置の構成を示す。図1において、光源には高周波蛍光灯照明装置を用い、その上に二値画像的なすき入れパターンを有する用紙を置く。このとき、用紙のすき入れ部と背景部とでは紙厚などが異なるため、用紙を透過する光量は紙厚などによって変調され、すき入れパターンがイメージセンサカメラの受光素子に光学的に結合される。そして、受光素子では入射する光の強弱が電気信号に変換され、この信号は画像解析装置に送られる。画像解析装置では、電気信号をアナログデータからデジタルデータに変換し、コンピュータから送られる制御命令にしたがって各種画像処理を行う。CRTディスプレイは、プログラムの開発や画像の表示などに用いる。

図2は、すき入れの位置を検出するアルゴリズムの概要を示すフローチャートである。図2において、S1（ステップ1）では、基準となるパターンの二値画像を参照画像とし、それをコンピュータ上で作成する。S2では、透過光を用いて入力した紙のすき入れ画像を入力画像とする。S3では、S2の入力画像をある濃度閾値で二値化する。S4及びS5では、それぞれS1の参照画像及びS3で二値化した画像に対して、

Fig.1 Device configuration for detection of position of watermark.

Fig.2 Flowchart of position detecting algorithm.

侵食処理 (erosion) を行う。S6 及び S7 では、それぞれ S4 及び S5 の侵食処理によって侵食された二値画像のすべての画素値がゼロであるかどうかを判別し、結果がゼロになるまで侵食処理を繰り返す。S8 及び S9 では、それぞれ S4 及び S5 の侵食処理を複数回行ったとき、各回ごとの侵食された二値画像と、侵食前の二値画像を加算して多値画像を作成する。S10 では、S8 で得られた参照画像の多値画像を、S9 で得られた画像 (入力画像を二値化した後の多値画像) に対して、一画素ずつラスタ状に走査させることによって、その位置をシフトさせる。S11 では、S10 で相対的に位置をシフトさせた多値画像同士を積和演算する。S12 では、多値画像の位置シフトを指定回数行ったかどうかを判別し、結果が指定回数になるまで S10 及び S11 の処理を繰り返す。S13 では、多値画像同士の積和演算を複数回行った結果から、積和演算値が最大となる点を求める。その位置が、入力画像に

おけるすき入れパターンの位置となる。ここで、S10 の位置シフトの方法について補足する。

図3に、位置シフトを行う参照画像と入力画像の概念図を示す。図3では、参照画像及び入力画像をそれぞれ二値画像として説明する。これは、次章で二値画像同士の積和演算を用いた場合と、多値画像同士の積和演算を用いた場合とで実験結果を比較するためである。図3の二値画像を多値画像にする方法については次章で述べる。図3(a)の参照画像は $k \times l$ 画素の大きさとし、リング状のすき入れパターンの濃度を $g=1$ 、背景部の濃度を $g=0$ とする。また、参照画像の定義域を A とする。図3(b)の入力画像は、イメージセンサカメラで入力後に二値化した画像を想定したものであるが、定義域を B とし、リング状のすき入れパターンの濃度を $f=1$ 、背景部の濃度を $f=0$ とする。また、定義域 B' はすき入れパターンが出現する範囲で、 $a \times b$ 画素の大きさとする。図4に、参照画像の位置をシフトさせる方法を示す。図4では、二値画像を用いて説明するが、多値画像の場合も同様の方法で位置シフトを行う。多値画像の位置シフトについては、次章で述べる。図4において、外側の大きな四角形は入力画像で、左上の定義域 A で示す四角形がシフト前の

Fig.3 Reference image and input image.
(a) Reference image ; (b) input image.

Fig.4 Position shift of reference image.

参照画像を表している。点 O は参照画像の中心点で、この点が定義域 B' 内の任意の点と重なるように、 B' の左上隅から右下隅まで一点ずつラスタ状にシフトさせる。ここで、 B' は $a \times b$ 画素の大きさであるので、シフトさせる回数は $a \times b$ 回となる。また、参照画像をシフトさせる際、入力画像のすき入れパターンが常に定義域 A に含まれるようにするために、参照画像の画素数を k については $2a$ 以上、 l は $2b$ 以上に設定する。

以上が位置シフトの方法であるが、次に、積和演算の方法について補足する。積和演算の方法については二値画像を用いて説明するが、多値画像の場合も同様の方法で行う。多値画像同士の積和演算については、次章で補足説明を行う。

$$E = \sum_A (f - g)^2 \quad \cdots \cdots (1)$$

式(1)は、一般にパターンマッチングを行う際に用いられる評価式である。式(1)において、 E は入力画像の各画素の濃度値 f と参照画像の各画素の濃度値 g との差の二乗を定義域 A 内で加算したものであるが、 E が最小となる点からすき入れパターンの位置を求めることができる。

$$E = \sum_A f^2 + \sum_A g^2 - 2 \sum_A f \cdot g \quad \cdots \cdots (2)$$

式(1)を展開すると式(2)が得られるが、図3(b)の入力画像において、リング状のすき入れパターン以外の背景部の画素値はすべてゼロであるため、図4で述べたように、このリング状のすき入れパターンが常に参照画像の定義域 A に含まれるようにして参照画像をシフトさせると、式(2)の第一項は一定になる。式(2)の第二項は、もともと一定であるため、式(2)は式(3)のように表すことができる。

$$E = \text{const.} - 2 \sum_A f \cdot g \quad \cdots \cdots (3)$$

ここで、 E を最小にするためには、式(3)の $\sum f \cdot g$ を最大にすればよいことが分かる。

$$C = \sum_A f \cdot g \quad \cdots \cdots (4)$$

式(4)は、入力画像の各画素の濃度値 f と参照画像の各画素の濃度値 g との積を定義域 A 内で加算したものであるが、これを新たな評価式として用いて、積和演算値 C が最大となる点からすき入れパターンの位置を求めることが可能になる。

図5に、入力画像の定義域 B' 内の任意の点の座標 (i, j) における積和演算値を求める際の、参照画像と入力画像の位置関係を示す。図5では、二値画像を用いて説明するが、多値画像の場合も同様の位置関係となる。

$$C(i, j) = \sum_A f(i+u, j+v) \cdot g(u, v) \quad \cdots \cdots (5)$$

また、式(5)に座標 (i, j) における積和演算値 C

Fig.5 Position of reference image to input image.

(i, j) の算出法を示す。図5において、座標 (i, j) における $C(i, j)$ の値を求めるためには、参照画像の中心点 O を座標 (i, j) に重ねて、参照画像の定義域 A 内の任意の点の座標 (u, v) における濃度値 $g(u, v)$ と、入力画像の定義域 B 内のそれに対応する座標 $(i+u, j+v)$ における濃度値 $f(i+u, j+v)$ を、式(5)に示すように掛け合わせて定義域 A 内で加算する。ここで、定義域 B' は $a \times b$ 画素の大きさであるので、参照画像の中心点 O を定義域 B' の左上隅から右下隅まで一画素ずつシフトさせながら、その都度積和演算値 $C(i, j)$ を計算し、 $a \times b$ 個の計算結果の中から積和演算値が最大となる点を求めることによって、入力画像内のすき入れパターンの位置を検出する。

3. 実験結果と考察

3.1 従来法によるシミュレーション実験

画像処理によってすき入れの位置を検出する方法として、従来二値画像同士の積和演算を用いた方法が検討されてきた。この節では、コンピュータ上でのシミュレーション実験を通して、従来法の問題点について述べる。二値画像同士の積和演算を行う場合の位置検出アルゴリズムのフローは、図2において、S4 (ステップ4)、S5、S6、S7、S8及びS9の処理を省き、S10、S11及びS13の中で使用されている多値画像の文字を二値画像に置き換えたものである。図6に、参照画像とその濃度断面を示す。図6(a)は濃度が二値の参照画像で、図6(b)はその x 方向の濃度断面である。図6(b)の横軸は画線の位置を、縦軸は濃度を表す。図6(a)のリング状パターンについては、リングの幅を W_0 、その濃度を1とする。図7に、入力画像とその濃度断面を示す。図7(a)はイメージセンサカメラで入力した濃淡画像で、図7(b)はリング状パターンの x 方向の濃度断面である。図7(b)の横軸は画線の位置を、縦軸は濃度を表す。図7(b)では、濃度断面が台形状になっているため、入力画像を二値化する際の閾値 th

Fig.6 Reference image and its profile of lightness.

(a) Reference image (bi-level) ; (b) profile of lightness.

w_0 : width of ring

of reference image (b)

w : width of ring
of input image

th : threshold level of input image

th_0 : threshold level when w is equal to w_0

Fig.7 Input image and its profile of lightness.

(a) Input image ; (b) profile of lightness.

と各入力画像に固有な値である th_0 の関係が変化すると、二値化した入力画像のリングの幅 W の値が変化する。ここで、 th_0 は、入力画像のリングの幅 W が参照画像のリングの幅 W_0 と等しくなるときの閾値である。画像処理の際には、閾値 th の値を一定にしておくが、紙厚などが変化すると紙を透過する光量が変動され、図 7(b) の濃度断面の形状が変化するため、 th と th_0 の関係は各入力画像ごとに異なり、その結果、リングの幅 W が変化する。

図 8 は、リングの幅 W の異なるすき入れパターンをコンピュータ上で作成し、二値画像の形状を比較したものである。図 8 の上段は参照画像、下段は(a), (b), (c)のように閾値 th と th_0 との関係を変えて入力画像を二値化した画像に相当する。各リングの位置は画像の中央にセットしてある。ここで、下段の入力画像のリングの幅は、図 8(a) の場合には参照画像のそれと等しくなるが、図 8(b) の場合は太く、図 8(c) の場合は細くなる。図 9 は、図 8 の参照画像の位置を入力画像に

Fig.8 Comparison among bi-level images.

(a) $th = th_0$; (b) $th < th_0$; (c) $th > th_0$.

Fig.9 Distribution of C_{max} . (a) $th = th_0$; (b) $th < th_0$; (c) $th > th_0$.

(In case of convolution between two bi-level image.)

対してシフトさせながら、その都度積和演算値 C を計算し、その最大値 C_{max} の分布を(a), (b), (c)のように閾値 th と th_0 との関係を変えてプロットしたものである。 x 軸及び y 軸は、 C_{max} が出現する位置を表す。また、 (x, y) 座標が $(0, 0)$ の点は入力画像の中心点を示す。図 8 の各リングの位置はあらかじめ画像の中央にセットしてあるので、図 9(a)のように (x, y) 座標が $(0, 0)$ の点に C_{max} が現れる場合は、すき入れパターンの位置を特定できる。一方、参照画像と入力画像のリングの幅が異なる図 9(b)や図 9(c)の場合には、 C_{max} が広い範囲に分布しているが、これは、異なるパターン同士でパターンマッチングを行ったためである。入力画像を二値化する際、参照画像と入力画像のリングの幅は必ずしも等しくなるとは限らないため、二値画像同士の積和演算を用いた方法では、すき入れパターンの位置を特定できない場合が生じると考えられる。

3.2 多値画像同士の積和演算を用いた方法によるシミュレーション実験

この節では、従来法の問題点を改善するため、多値画像同士の積和演算を用いた方法を提案し、シミュレーション実験を通して、その効果を確認する。この方法の特徴は、図 8 に示す参照画像と二値化した入力画像のすき入れパターンを、図 10 に示すように三角形形状の濃度断面を有する多値画像にし、参照画像をシフトさせながら、その都度式(4)を用いて両者の積和演算を行うことである。ここで、式(4)を用いるためには、式(2)の第一項が一定になる必要があるが、図 10 のように入力画像のリング状パターンの濃度断面が、その輪郭部からリングの中心部に向けて濃度が増大するような形状を有し、入力画像の背景部の濃度がすべてゼロである場合、図 4 に示すように、入力画像のリング状パターンが常に参照画像の定義域 A に含まれるように参照画像のシフトを行えば、式(2)の第一項を一定にすることができる。また、参照画像が図 10 のよう

な濃度断面を有する多値画像の場合、式(2)の第二項は一定であるため、式(3)が成立し、結果として式(4)を評価式として用いることが可能となる。そこで、図 10 のような濃度断面を有する多値画像を作成するために、画像処理手法の一つである侵食処理を用いる。

侵食処理は、図 11 に示すように、二値画像の局所領域において、画素 P_0 を中心として、それに隣接する八つの画素の値と P_0 の画素値をすべて掛け合わせた値を F とするとき、 F の値が 0 ならば $P_0=0$ 、 F の値が 1 ならば $P_0=1$ となるように、 P_0 の値を置き換える処理のことである。図 12 に、侵食処理後の二値画像の形状を示す。図 12 において、 I_0 は侵食前の二値画像で、 I_i と I_n はそれぞれ i 回及び n 回侵食後の二値画像である。また、リング状のパターンはすき入れ部分であるが、侵食処理はリングの輪郭部分を削ってリングを細くするため、これらの二値画像を加算すると破線で示すように、三角形形状の濃度断面をもつ多値画像が形成される。多値画像を I_M とすると、 I_M は式(6)のように表される。

$$I_M = \sum_{i=0}^n I_i \quad 0 \leq i \leq n \quad (i, n: \text{integer}) \quad \cdots \cdots (6)$$

ここで、侵食回数については、 $n+1$ 回侵食したとき、二値画像の全画素値がゼロになるように n の値を設定する。ただし、 n の値は侵食前の二値画像 I_0 のリングの幅に依存するため、入力画像（濃淡画像）を二値化したときのリングの幅がとりうる最大値に対して、これを侵食して二値画像の全画素値をゼロにするために必要な回数より大きい値にしなければならない。この条件を満たす n の値であれば、 n をどれだけ大き

P ₄	P ₃	P ₂
P ₅	P ₀	P ₁
P ₆	P ₇	P ₈

$$F = P_0 \times P_1 \times \cdots \times P_8$$

$$P_0 = 0 \quad (\text{if } F = 0)$$

$$P_0 = 1 \quad (\text{if } F = 1)$$

Fig. 11 Principle of erosion.

Fig. 10 Shift of multi-level image.

Fig. 12 Shape of bi-level image after erosion.

い値に設定しても構わない。その理由は、式(6)において全画素値がゼロである二値画像を何回加算しても、図12における多値画像の濃度断面の形状には影響しないからである。しかし、 n の値が大きすぎると計算に要する時間が増大するため、実用的な値を見積もる必要がある。

図13は、図8に示すリングの幅が異なる二値画像を、それぞれ式(6)にしたがって多値化し、その形状を比較したものである。リングの濃度断面は三角形形状になっているため、リングの稜線部分の濃度が大きくなっていることが分かる。図14は、積和演算値 C の最大値 C_{max} の分布を多値画像について求めたものである。 x 軸及び y 軸は、 C_{max} が出現する位置を表す。図14(a)、図14(b)、図14(c)の結果をみると、 (x, y) 座標が $(0, 0)$ の点に C_{max} が現れており、図14(b)や図14(c)のように入力画像と参照画像のリングの幅が異なる場合でも、 C_{max} の分布は変化していない。つまり、すき入れパターンの位置を特定できるため、この方法はすき入れの位置検出精度の向上に有効であると考えられる。

Fig. 13 Comparison among multi-level images.
(a) $th=tho$; (b) $th<tho$; (c) $th>tho$.

Fig. 14 Distribution of C_{max} . (a) $th=tho$; (b) $th<tho$; (c) $th>tho$.
(In case of convolution between two multi-level images.)

ここで、図14(b)と図14(c)において、 C_{max} が広範囲に分布しない理由を考察する。図15は、画像の一次元モデルを用いて、積和演算値の最大値 C_{max} の分布を示したものである。図15(a)及び図15(b)は、それぞれ二値画像及び多値画像について、上から参照画像と入力画像の濃度断面、積和演算値 $C(x)$ の分布、そして積和演算値の最大値 C_{max} の分布を表す。参照画像のすき入れ部分の x 方向の画素数は三画素、入力画像のそれは五画素とする。これは、図8において、参照画像と入力画像のリングの幅が異なる場合に相当する。ここで、参照画像及び入力画像の横方向は画素の位置を、縦方向は濃度を表す。また、 $C(x)$ のグラフは、参照画像と入力画像を積和演算した値を、入力画像の各画素の位置ごとにプロットしたものである。 C_{max} のグラフは、積和演算値 $C(x)$ が最大となる点が入力画像のどの位置に現れるかを示す。 C_{max} の分布をみると、図15(a)の場合は広範囲に分布している。一方、図15(b)の場合は入力画像の中心となる点に現れており、図14の結果と一致する。二値画像の場合には、すき入れパターンの濃度は一定であるため、積和演算の際に濃度による重み付けは二段階しか行えないが、多値画像の場合には、濃度断面が画線の輪郭部から中心部に向けて濃度が增大する特徴を有しており、積和演算の際に濃度による重み付けを多段階にすることが可能である。このことが、 C_{max} の分布を狭くするのに貢献していると考えられる。

3.3 実画像を用いた実験

イメージセンサカメラで入力した画像に対する実験結果について述べる。写真1に、透過光を用いてイメージセンサカメラで入力したすき入れ画像を示す。リング状に明るくなっているところは、紙厚の薄い部分

Fig.15 One dimensional distribution of C_{max} .
(a) Bi-level image ; (b) multi-level image.

Photo.1 Input image.

である。図 16 は、リング状のすき入れ部分の x 方向の紙厚を三次元粗さ計で計測したものである。このサンプルは、リングの幅 W で示したすき入れ部分の紙厚が約 $60 \mu\text{m}$ 、背景部分の紙厚が約 $120 \mu\text{m}$ であることが分かる。図 17 は、積和演算値 C の最大値 C_{max} の分布を、従来法（二値画像同士の積和演算を用いた方法）と今回提案する多値画像同士の積和演算を用いた方法とで比較したものである。但し、今回の実験では、 th_o の値が 124 という濃度になるサンプルに対して、濃度閾値 th の値を 100 にして入力画像を二値化したため、 th と th_o の関係は $th < th_o$ となる。また、写真 1 のすき入れパターンは、あらかじめ入力画像の中央にセットした。図 17(a) をみると、二値画像同士の積和演算を用いた方法の場合には、 C_{max} の分布が広範囲に渡っているため、すき入れパターンの位置を特定することはできないが、図 17(b) のように多値画像同士の積和演算を用いた方法では、 (x, y) 座標が

Fig.16 Thickness of paper.

$(0, 0)$ の点に C_{max} が現れている。したがって、多値画像同士の積和演算を用いた方法は、シミュレーション画像の場合だけでなく、実画像の場合でも有効であると考えられる。

4. 結 論

二値画像的なすき入れパターンの位置を画像処理によって検出する方法として、多値画像同士の積和演算

Fig.17 Distribution of $C_{\max}$. (When $th < th_o$.)

(a) Bi-level image ; (b) multi-level image.

を用いた方法を開発した。この方法は、参照画像と二値化した入力画像を三角形の濃度断面を有する多値画像にし、参照画像をシフトさせながらその都度両者の積和演算を行い、積和演算値が最大となる点からすき入れの位置を検出するものである。従来法（二値画像同士の積和演算を用いた方法）では、すき入れの位置を特定できない場合が存在したが、今回開発した多値画像同士の積和演算を用いた方法では、積和演算値が最大となる点の分布が、二値画像の場合に比べ狭い範囲になることを確認した。これにより、すき入れ位置の検出精度を向上させることが可能になった。

今後の課題は、位置検出に要する時間を短縮することである。今回は、汎用画像解析装置を用いて実験を行ったが、これをより高速なハードウェアに置き換えたり、侵食処理の回数や参照画像のシフト回数を減らす工夫をすることなどによって、処理時間の短縮を図ることが可能であると考えられる。

参考文献

- 1) 紙パルプ技術協会編：“紙パルプ事典” 金原出版 (1989)
- 2) 金山憲司：“車両番号認識のシステムアーキテクチャーと田口法によるプレート部抽出の高速化について”，電子情報通信学会論文集，J 72-D-II，6，pp.873-879 (1989)
- 3) 秋山照雄，他：“周辺分布，線密度，外接矩形特徴を併用した文書画像の領域分割”，信学論，vol.69-D，No.8，pp.1187-1196 (1986)
- 4) 中村好勝，他：“工業応用文字読取装置 (TOS-EYE-1000)”，信会技報，PRU 69-74 (1986)
- 5) 金山憲司，他：“実時間画像処理による車両番号認識装置の開発と応用”，電子情報通信学会論文集，J 72-D-II，10，pp.1663-1671 (1989)
- 6) K. Kanayama, et al.：“Development of Vehicle-Licence Number Recognition System Using Real-Time Image Processing and Its Application to Travel-Time Measurement”，*The 41st IEEE Vehicular Technology Conference*, pp.798-804 (1991)
- 7) S. Kashioka, et al.：“A Transister Wire-Bonding System utilizing Multiple Local Pattern Matching Techniques”，*IEEE Trans.*, SMC-6，8，pp.562-570 (1976)
- 8) T. Uno, et al.：“An Industrial Eye that Recognizes Hole Positions in a Water Pump Testing Process”，*Computer Vision and Sensor-Based Robots*, pp.101-116, Plenum Press (1979)
- 9) W. K. Pratt：“Correlation techniques of image registration”，*IEEE Trans.*, AES-10，3，pp.353-358 (1974)
- 10) 尾上，他：“残差逐次決定法による画像の重ね合わせ”，情報処理，17，7，pp.634-640 (1976)
- 11) R. Y. Wong, et al.：“Scene matching with invariant moments”，*CGIP* 8，pp.16-24 (1978)
- 12) G. J. Vanderbrug, et al.：“Two-stage template matching”，*IEEE Trans.*, C-26，4，pp.384-393 (1977)

(受理：'98.6.22)