

# 指紋画像の画質に関するある考察

渡辺 政典\*・金岡 泰保\*・浜本 義彦\*・富田 眞吾\*

## On Two Criteria for Fingerprint Image Quality

Masanori WATANABE, Taiho KANAOKA, Yoshihiko HAMAMOTO and Shingo TOMITA

### Abstract

This paper investigates the criterion of the fingerprint image quality. To establish the criterion is very important for developing the more excellent image enhance technique. As the criterion we suggest two methods. One is a modified acutance method and the other is based on the conception of autocorrelation. From experimental results, it can be shown that both methods are basically available for estimation of the fingerprint image quality.

### 1. まえがき

指紋は、終生不変、万人不同という特性を有し個人識別の重要な資料として古くから用いられている。特に、犯罪捜査においては身元や容疑者の割り出しに欠くことの出来ない人体特徴である<sup>1)</sup>。

近年、膨大な指紋データとの照合を迅速に行うためにコンピュータによる自動識別装置が開発され実用化されている。しかしながら、照合の精度、計算効率などにおいて問題点も多く残されており、指紋画像の前処理方法や、照合方法などを再検討する必要がある。特に前処理の良否は照合精度に直接影響することから強力な処理法の開発が望まれる。ところで、現在の指紋採取法では異なる指紋画像間はもちろんのこと同一指紋画像においても画像の品質に差異が生じるのが実状である。

指紋画像の画質に関しては、照合領域として探索指紋とファイル内指紋の共通な鮮明領域を採用することを目的としたもの、あるいは将来IDカードに代わるものとしてオンライン照合の際、入力された画像の品質が適当でなければ再入力を促すことを目的としたもの<sup>2)</sup>等において大まかな考察がなされている。しかしながら、前処理法の再検討という観点からすると、例えば2値化のしきい値やギャップ間隔<sup>3)</sup>などの種々のパラメータ、あるいは弛緩法などの再帰的処理における繰り返し回数<sup>4)</sup>などは画質に応じて適切に設定する必要がある、そのためには画質について詳細な考察を行わなければならない。

本論文では、強力な前処理法を開発するためには画質の評価法の確立が不可欠であると言う立場から、修正アキュータンス法と自己相関を用いる方法の二つの評価法を提案し考察した。アキュータンス法は一般的な画質の評価法として知られているが、指紋画像を対象とする場合はこのままでは十分ではなく指紋の特性を考慮して修正を行った。自己相関法もよく知られた概念であるが、ここでは指紋の画質の評価法としての可能性について検討した。

2で修正アキュータンス法、3で自己相関法を述べ、4で主観的評価とシミュレーション結果との比較検討を行なう。

### 2. 修正アキュータンス法

#### 2.1 アキュータンス

アキュータンス (ACUTANCE) は、普通エッジを

\*電子工学科

横切る勾配，すなわち濃淡レベルの変化の割合の2乗の和を，そのエッジを横切った全コントラストで割ったものによって表わされる<sup>5)</sup>。a - b間のアキュータンスA(a, b)は次式で表わされる。

$$A(a, b) = \frac{1}{|f_{(a)} - f_{(b)}|} \int_b^a \left(\frac{df}{dX}\right)^2 \quad (1)$$

ただし， $f_{(v)}$ は画素点Vの濃度値である。

この概念を基に Fig. 1 に示した流れに沿って画質の評定を試みた。

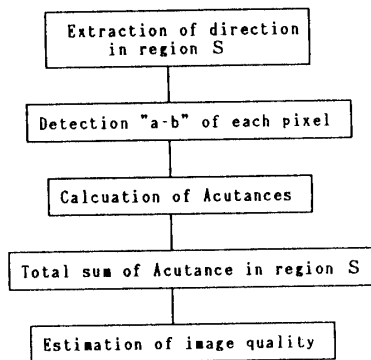


Fig. 1 Flow diagram of process for the modified acutance method.

## 2.2 小領域Sの方向抽出

前述のように，アキュータンスはエッジの鋭さを表わすので，a点，b点をそれぞれエッジと直交する，すなわち隆線に対して垂直な方向に設定することが望ましいと考えられる。そこで，最初に隆線の方法を抽出した。

まず，64×64画素の領域 $T^i(i = 1, 2, \dots, 16)$ を4×4領域(16×16画素)に細分割し，その小領域を $S_j^i(j = 1, 2, \dots, 16)$ とする。このとき，中心部分や分岐点を含まない小領域 $S_j^i$ では隆線の曲率は小さい，すなわち，ほぼ直線と考えることができる。これより小領域 $S_j^i$ の隆線方向として1つの方向を決定し，方向ラベルを与えた。方向抽出の処理フローを Fig. 2 に示した。以下では隆線方向を単に方向とも言う。

方向の抽出は，小領域 $S_j^i$ 内の隆線上と思われる濃度値がしきい値 $t_1$ 以上の画素についてのみ行い， $t_1$ 未満の画素の方向性は0とした。以下に $t_1$ 以上の画素の方向抽出の手順を示す。まず Fig. 3 に示す幅1画素，長さ7画素で8方向のスリットを注目画素(Fig. 3では●印の画素)に作用させる。このとき，

- i) 各方向においてスリット上の全画素がしきい値 $t_2$ 以上の濃度を持つ方向を検出したとき，方向性候補

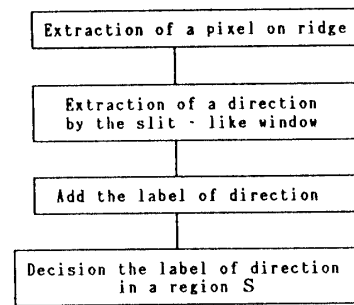


Fig. 2 Flow diagram of detection of a ridge direction.

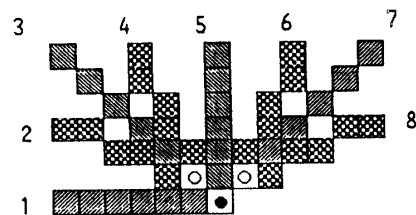


Fig. 3 the shape of slit-like window and its direction code.

として方向ラベル $\lambda(\lambda = 1, 2, \dots, 8)$ を注目画素に付加する。方向性候補が存在しないときは0ラベルを付加する。

- ii) 方向性候補が複数個抽出されたとき，例えば，Fig. 4の例では，最下行左から6列目の濃度11の画素の方向性候補として，5と6の方向性が抽出されている。このような場合は，各方向スリット上の画素値の分散 $\nu_l$ を求める。次に $\nu_l$ が最小となる方向を抽出し，これを注目画素の方向とする。すなわち，

$$\nu_l^* = \min_l \nu_l \quad (2)$$

- ただし， $l$ は方向性候補のラベルを満たす方向 $l^*$ を方向ラベルとする。
- iii) 以上の操作を行った後，ある小領域Sの全体的な方向ラベルとして，その領域の各画素の方向性ラベルに注目したとき，最も多い方向ラベルを採用する。このとき，0ラベルは無視する。

Fig. 5に，Fig. 4に示した小領域の方向ラベルの例を示す。

## 2.3 修正アキュータンスの計算法

アキュータンスの計算を行うとき，幅1画素，長さ5画素のスリット(Fig. 6)を用いた。注目画素をa点とし，b点は，小領域Sの持つ方向ラベルと直交する方向のスリット上からa点の濃度値に応じて次のように設定した。

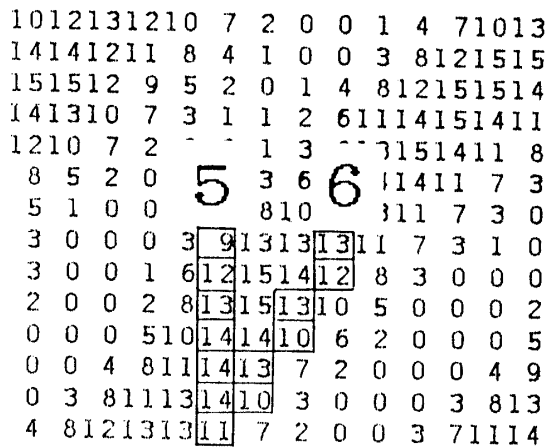


Fig. 4 Gray label in a region S.

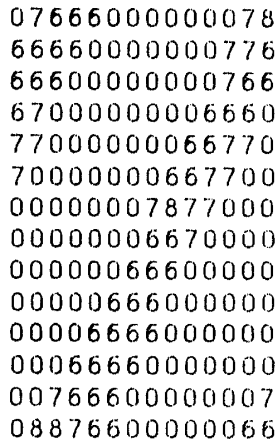


Fig. 5 Direction label on each pixel. (result of direction=6)

- i) 注目画素の濃度値がしきい値  $t_3$  未満のときは、スリット内で最高濃度値を持つ画素を b 点とする (Fig. 7).
  - ii) 注目画素の濃度値が  $t_3$  以上のときは、スリット内で最低濃度値を持つ画素を b 点とする (Fig. 8).
- 以上の操作で得られた、a, b 両点を(1)式に代入してアキュータンスを求める。ここで、a - b 間の距離は各注目画素に対して変化するから(1)式を次のように修正した。

$$A'(a, b) = \frac{1}{|f_{(a)} - f_{(b)}| \cdot D(a-b)} \int_b^a \left(\frac{df}{dx}\right)^2 dx \quad (3)$$

ただし、 $D(a-b)$  は、a - b 間の画素数に 1 を加えた値で、画素 a - b 間の距離を表わす。

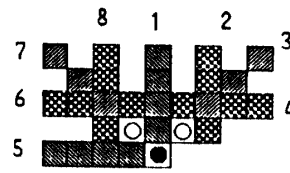


Fig. 6 The shape of slit-like window and its direction code for acutance.

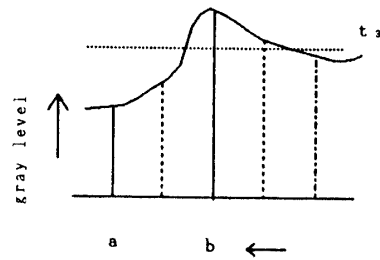


Fig. 7 In the case that the gray level of the pixel "a" <  $t_3$ .

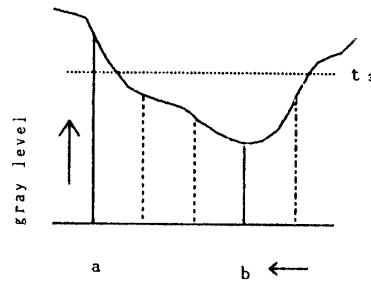


Fig. 8 In the case that the gray level of the pixel "a"  $\geq t_3$ .

### 2.4 画質の評価法

小領域 S のアキュータンスの総和

$$J_A(S) = \int_s \int_b^a \frac{1}{|f_{(a)} - f_{(b)}| \cdot D(a-b)} \left(\frac{df}{dx}\right)^2 dx \quad (4)$$

を小領域 S の評価関数とした。

また、領域 T の評価関数 J(T) を

$$J(T) = \frac{1}{16} \sum_{j=1}^{16} \frac{1}{N_j} J_A(S_j) \quad (5)$$

とした。

ただし、 $N_j$  は、小領域  $S_j$  中の隆線の本数である。

ここで  $1/N_j$  を乗じたのは、エッジ部分、すなわち隆線の本数の多少が結果に大きく影響してくるので、均衡を保つためである。

3. 自己相関を用いた方法

3.1 自己相関

自己相関 (AUTOCORRELATION) は、次式で与えられる。

$$C(\alpha, \beta) = \int \int f(x, y) \cdot f(x-\alpha, y-\beta) dx dy \quad (6)$$

ただし、 $f(x, y)$  は原画像における画素  $(x, y)$  の濃度値である。

(6)式は、原画像とそれを  $(\alpha, \beta)$  だけ平行移動した画像における同一座標上の二つの画素値の積和をとったものである。なお、(1)式の  $a, b$  点はそれぞれ  $(x_1, y_1)$  画素および  $(x_2, y_2)$  画素と考えれば良い。

以下、2と同様に領域  $T$  を16領域に細分割した小領域  $S$  についてのみ議論する。

3.2 画質の評価法

Fig. 9 のようにある小領域  $S$  での積和

$$C_s(\alpha, \beta) = \int \int_S f(x, y) \cdot f(x-\alpha, y-\beta) dx dy \quad (7)$$

は、画像を降線方向に平行移動したとき最大になるものと考えられ、このことは、降線方向の決定にも有効である。ここで画像の平行移動量を  $(\alpha_j, \beta_j)$  ( $i$  = 移動距離,  $j$  = 移動方向) で表わす。

例えば  $i = 1$  のときは Fig. 10 で示すように  $(\alpha_1, \beta_1) = (1, 0)$ ,  $(\alpha_2, \beta_2) = (1, 1)$ ,  $(\alpha_3, \beta_3) = (0, 1)$ ,  $(\alpha_4, \beta_4) = (-1, 1)$  の4通りである。 $i = 2$  のときは Fig. 11 で示すように  $(\alpha_1, \beta_1) = (2, 0)$ ,  $(\alpha_2, \beta_2) = (2, 1)$ , ...,  $(\alpha_8, \beta_8) = (-2, 1)$  で

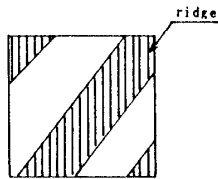


Fig. 9 Example of region S.

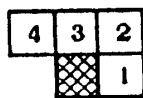


Fig. 10 Distance=1 Direction=4

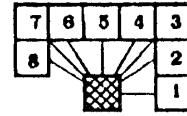


Fig. 11 Distance=2 Direction=8

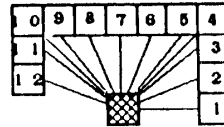


Fig. 12 Distance=3 Direction=12

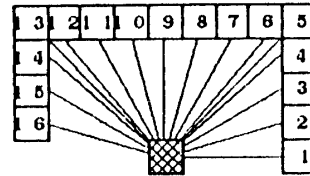


Fig. 13 Distance=4 Direction=16

ある。今回は  $i = 1, 2, 3, 4$  の4種類について考察したが、 $i = 3, i = 4$  に対しては、それぞれ Fig. 12, Fig. 13 のように設定した。

さて、移動量  $(\alpha_j, \beta_j)$  に対する小領域  $S$  内の自己相関を

$$C_s(\alpha_j, \beta_j) = \sum_{(x, y) \in S} f(x, y) f(x-\alpha_j, y-\beta_j) \quad (8)$$

とし、また、移動距離  $i$  に対する全ての方向の自己相関値の総和を

$$F_s(i) = \sum_{i \in \Omega_i} C_s(\alpha_j, \beta_j) \quad (9)$$

ただし

$$\Omega_i = \begin{cases} \{1, 2, 3, 4\}, & i = 1 \text{ のとき} \\ \{1, 2, \dots, 8\}, & i = 2 \text{ のとき} \\ \{1, 2, \dots, 12\}, & i = 3 \text{ のとき} \\ \{1, 2, \dots, 16\}, & i = 4 \text{ のとき} \end{cases}$$

とすると、各方向に対する平均値  $\mu_i$  は

$$\mu_i = \frac{1}{|\Omega_i|} F_s(i) \quad (10)$$

となる。ただし、 $|U|$  は、集合  $U$  の要素である。このとき、小領域  $S$  の画質の評価関数は

$$J_c(S) = \frac{1}{|\Omega_i|} \sum_{j \in \Omega_i} \{C_s(\alpha_j, \beta_j) - \mu_i\}^2 \quad (11)$$

とした。すなわち、 $J_c(S)$ は移動距離  $i$  に対する各方向の分散である。この  $J_c(S)$ が大なる程小領域  $S$ の画質は良好であるとした。

また、小領域  $S$ の隆線の方向性は

$$Cs(\alpha_{j^*}, \beta_{j^*}) = \max_{j \in \Omega} Cs(\alpha_j, \beta_j) \quad (12)$$

であるとき、移動距離  $i$ の中で自己相関値が最大となる方向  $j^*$ をその小領域  $S$ の隆線の方向とした。

#### 4. シミュレーション結果および検討

シミュレーションは、3種類の640×512画素(4 bit/pixel)の原画像(Fig. 14-a, b, c)から中心領域を含む256×256画素を切り出して使用した。この3種類の指紋画像に対して、修正アキュタンス法、自己相関を用いた方法何れも小領域  $S$ に対して(4)式あるいは(11)式に従って、 $J_A(S)$ 、 $J_c(S)$ を算出し、さらに16個の小領域の評価値の平均値によって領域  $T$ の評価値とした。ただし、修正アキュタンス法で用いたしきい値  $t_1, t_2, t_3$ は隆線を構成する最低濃度値と考えられる8に設定した。また、領域  $S$ 内の隆線の本数  $N_j$ はマニュアルでカウントした。

3枚の画像データは主観的に判断して、比較的良好な画像(a)、良好ではあるが一部分ボケを含んでいる画像(b)、隆線の途切れが多く質のよくない画像(c)である。シミュレーション結果を Fig. 14-(a), (b), ..., (i)に示した。また、Fig. 16には、4人の主観的判断による画質のランク付けを平均した結果を示す。これは、16領域を5つのランクに分割したものであり、画質の良好と思われる小領域から順に番号をつけたものである。これらを比較してみると、

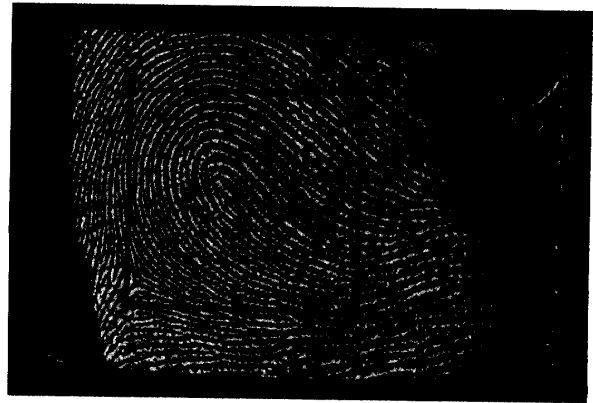
指紋(a)：自己相関を用いた方法については、良好あるいは不良な部分に対してはまずまずの結果と言える。

アキュタンスの方は、あまり一致した結果が得られなかった。

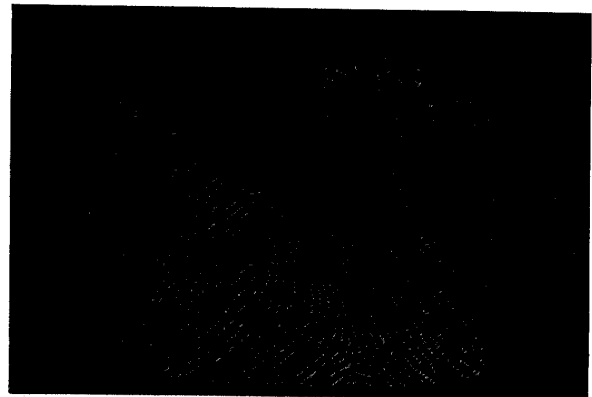
指紋(b)：両方法とも全体的に主観的判断と一致した。特に質のよくない領域については両方法とも良い結果が得られた。

指紋(c)：主観的判断がかなり困難な画像ではあるが、アキュタンス法は、自己相関と比較して主観的判断に近い結果が得られた。

と言える。また256×256画素全体の領域の評価値を Table 1に示した。この表から、3種類の指紋を比較した場合何れの方法も画質の良さは、(a), (b), (c)の順であると言える。



(a) Data:(a)



(b) Data:(b)



(c) Data:(c)

Fig. 14 Original fingerprint image.

64	48	55	58
90	34	59	35
40	55	81	52
7	59	79	48
40	81	85	55
7	79	93	34
52	52	87	38
48	48	100	0

a) Acutance

207	129	113	120
100	58	47	51
138	60	52	52
80	17	13	13
48	84	79	29
11	31	28	0
40	57	71	34
8	18	24	3

b) Autocorrelation  
Distance=3

199	174	147	143
100	85	88	68
149	70	68	85
70	22	19	19
43	71	88	41
5	22	32	4
34	57	75	42
0	14	45	5

c) Autocorrelation  
Distance=4

(a), (b), (c) Data : (a)

29	18	17	35
35	3	0	53
38	43	27	36
81	76	29	58
50	51	35	34
97	100	53	50
48	42	39	39
85	73	85	65

d) Acutance

43	8	8	15
33	0	2	8
108	88	21	39
90	73	13	29
119	47	31	28
100	38	22	19
101	47	40	92
84	38	30	76

e) Autocorrelation  
Distance=3

66	10	10	17
41	0	0	5
148	100	29	35
100	68	14	18
143	55	34	28
98	33	18	13
133	70	48	91
90	44	26	60

f) Autocorrelation  
Distance=4

(d), (e), (f) Data : (b)

37	24	20	25
81	19	0	24
31	30	34	39
52	48	87	90
35	41	28	39
71	100	38	90
38	34	37	31
88	87	81	52

g) Acutance

109	28	38	28
100	9	18	9
80	53	48	53
87	37	29	37
95	89	20	47
84	78	0	30
40	61	41	33
22	48	24	15

h) Autocorrelation  
Distance=3

137	37	53	35
100	14	28	12
97	68	59	61
68	39	33	34
118	97	21	59
82	88	0	33
52	69	52	39
27	41	27	18

i) Autocorrelation  
Distance=4

(g), (h), (i) Data : (c)

Fig. 15 Simulation results  
upper number: value  
lower number: rank.

1	1	2	3
2	3	3	4
3	3	3	5
3	3	4	5

(a) Data:(a)

4	5	5	4
2	4	4	3
1	2	3	3
1	2	3	2

(b) Data:(b)

2	5	5	4
2	2	2	3
1	2	3	3
1	2	3	2

(c) Data:(c)

Fig. 16 Average of subjective estimation result.

Table 1 Values of the criterion of image quality

	Acutance	Autocorrelation	
		Distance=3	Distance=4
(a)	54	82	91
(b)	36	62	63
(c)	33	53	66

また、方向抽出結果を Fig. 17(a), (b), ... (f) に示したが、画質の良いところでは良好と言えるがそうでないところでは、誤抽出がめだつ。

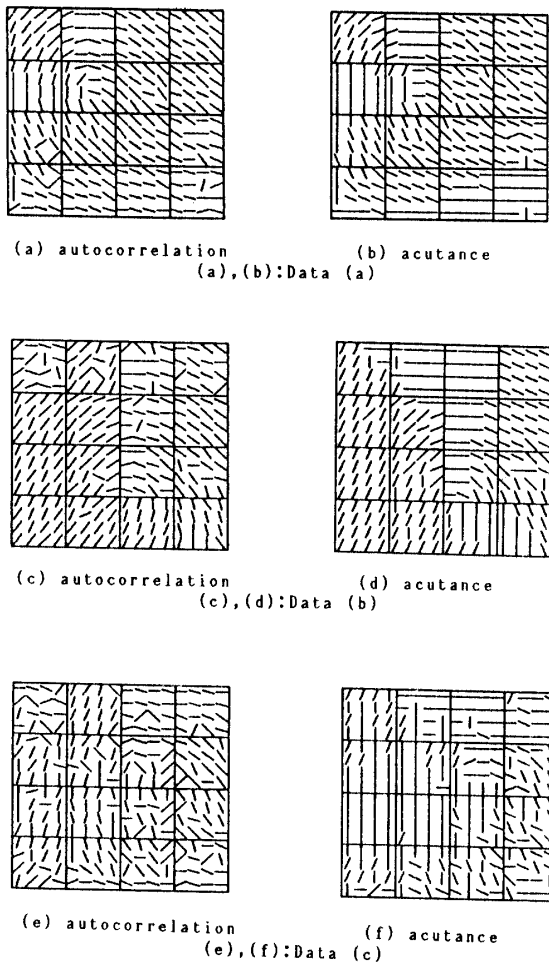


Fig. 17 Results of extracted directions.

## 5. むすび

画質の評価法の確立は一般的に難解な課題とされているが、対象画像の使用目的に応じた画質評価ということに限定すれば考え易い。本論文では指紋画像の画質の評価法として、修正アキュタンス法と自己相関を用いた方法を提案し、シミュレーション結果を通してこれらの有効性を示唆することができた。今後は、指紋照合という立場で、指紋の画質とは何かを掘り下げ、さらに詳細な検討を行わなければならない。

## 謝 辞

本研究を行うに当たりご討論ご助言頂くNECセキュリティシステムの木地和夫社長、石橋了輔常務取締役、星野幸夫技師長、原雅範氏、ならびに鈴木勇氏に謝意を表す。また、ご協力ご助言頂く本学大学院生の伊藤伸一郎氏に感謝する。

## 参 考 文 献

- 1) 河嶋・木地, “指紋と掌紋による個人識別技術”, 情処学会誌, Vol. 25, No.60, pp. 599-605(1984).
- 2) 大和・畑・矢頭・橋本, “谷細線化による指紋照合システム”, 信学論(D), Vol. J 71-D No.2 pp. 327-335 (1988).
- 3) 児玉・金岡・富田, “濃度分布に着目した指紋画像処理の一手法について”, 信学技報, PRU86-100 (1987-2).
- 4) S. W. Zuker, R. A. Hummel and A. Rosefeld: “An Application of Relaxation Labeling to Line and Curve Enhancement”, IEEE Trans. Comput., C-26, pp. 394-403 (1977).
- 5) A. Rosenfeld: “PICTURE PROCESSING BY COMPUTER”, ACADEMIC PRESS pp.91-92 (1969)

(昭和63年4月15日受理)