全画素エッジ方向ヒストグラムを利用した プリント基板の高速画像マッチング

学生員 後藤 邦博* 正員 斉藤 文彦*

High-speed Image Matching for Printed Circuit Board Using Edge Direction Histogram by All Pixels

Kunihiro Goto*, Student Member, Fumihiko Saitoh*, Member

Normalized correlation template matching is applied to industrial image processing fields. However a target image area must be searched has the right position and the same scale as a registered template image. This paper proposed a method to search a target image area that has free location and inclination in a gray-scaled image of printed circuit boards. Because electrical components and wires are set vertically and horizontally on a printed board, it is likely that edge directions are distributed vertically and horizontally a lot. The proposed method can estimate the inclination of a target image area by feature of edge directions and can reduce the computational cost for template matching. The inclination is measured by the edge direction histogram based on edge strength. The experimental results show that the inclinations of target image areas were measured with the averaged accurate of ± 2 degree and the computational cost was reduced to about 1% in comparison with the conventional method.

キーワード：正規化相関マッチング，プリント基板，エッジ方向ヒストグラム，エッジ強度，傾き推定

Keywords: normalized correlation matching, printed circuit board, edge direction histogram, edge strength, estimation of the inclination

1. はじめに

産業分野における画像処理技術の発展に伴い，従来は人間の視覚によって行われてきた多くの生産工程が自動化されつつある。プリント基板等の製造ラインでは，部品の位置決め，寸法計測，検査工程などが必要とされるが，これらの工程を画像処理によって自動化する場合，正規化相関による画像マッチングが広く適用されている^{(1)~(3)}。正規化相関マッチング⁽⁴⁾⁽⁵⁾が用いられる理由として，処理アルゴリズムが単純であるにも関わらず，画像の様な濃度変化の影響を受けにくく，テンプレート画像と一致性の高い部分画像を対象画像内から探し出すという汎用性の高い手法であることが挙げられる。

一方で，実際の生産現場では，部品の2次元的な姿勢が変化する場合が発生する。正規化相関マッチングでは，探索すべき部分画像はテンプレート画像に対して正立してい

ることが適用条件となるため，2次元的な姿勢変化に対応するためには位置だけでなく傾きに関するパラメータを変化させながら多数回のマッチングを行わなくてはならない。そのため，多くの計算コストを要することが問題となる。

本論文では，プリント基板上の電子部品を対象として，濃淡画像内から位置および傾きに関して自由度を持つ部分画像を探索する手法を提案する。プリント基板に固有な画像特徴を用い，入力された濃淡画像から，プリント基板の傾きを推定し，推定された傾きに合わせてテンプレート画像を回転させ，この回転したテンプレート画像を用いて，通常の正規化相関マッチングを行う。事前に画像の傾きが推定されているため，マッチングに要する計算コストの削減が期待できる。傾き推定には，エッジ強度に基づくエッジ方向ヒストグラムを用いる。実験を通し，提案手法によって，精度良く探索すべき部分画像の傾き推定が行われ，計算コストの大幅な削減が実現できることを示す。

2. 正規化相関画像マッチング

正規化相関画像マッチングは，図1に示すように， $M \times N$ 画素のテンプレート画像 T と最も類似した部分画像を，探索対象画像 I の中から探索する手法である。探索対象画像

* 岐阜大学工学部応用情報学科

〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1

Department of Information Science, Faculty of Engineering,
Gifu University

1-1, Yanai-do, Gifu-shi, Gifu 501-1193

図1 正規化相関テンプレートマッチング

Fig. 1. Normalized correlation template matching.

I の各画素 (u, v) におけるテンプレート画像 T とのマッチング率 $R(u, v)$ は、次式によって求められる。

$$R(u, v) = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \{I(i+u, j+v) - \mu_I(u, v)\} \cdot \{T(i, j) - \mu_T\}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \{I(i+u, j+v) - \mu_I(u, v)\}^2 \cdot \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \{T(i, j) - \mu_T\}^2}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

但し、

$$\mu_I(u, v) = \frac{1}{NM} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M I(i+u, j+v) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\mu_T = \frac{1}{NM} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M T(i, j) \quad \dots\dots\dots (3)$$

正規化相関マッチングは、一様な照明変化に強いことが特長であるが、探索対象画像内の各画素において、テンプレート画像と画素単位のマッチング処理が必要であるため、多くの計算コストが必要となる。また、探索すべき部分画像はテンプレート画像に対して正立していることが適用条件となる。

探索対象画像の2次元的な姿勢変化に対応するための手法として、フーリエ記述子法⁽⁶⁾、モーメント法⁽⁷⁾、一般化 Hough 変換⁽⁸⁾などが提案されている。フーリエ記述子法は、基本的に対象物の輪郭が連続している必要があり、モーメント法は、背景ノイズの影響を受けやすいと考えられる。一般化 Hough 変換は、対環境性と汎用性に優れている手法であるが、姿勢情報を表すための膨大な投票空間が必要であり、投票処理に多くの計算コストを要する。他にも、輪郭線上の曲率を利用する手法⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾も提案されている。以上に述べた手法は、対象画像内で検出されたエッジ情報に基づいてマッチングを行う手法である。しかし、製造ラインでは、照明の方向と部品の姿勢との関係によって、エッジの位置や連続性に影響が生じる可能性がある。そのため、正規化相関マッチングのように濃淡情報を用いたマッチングが有効であると考えられる。しかし、前述のように正規化相関マッチングを2次元的な姿勢変化に対応させるためには、テンプレート画像の傾きに関するパラメータを変化

図2 プリント基板画像

Fig. 2. An image of printed circuit board.

図3 本手法の流れ

Fig. 3. Flow-chart of the proposed method.

させながらマッチングを行わなくてはならないため、非常に多くの計算コストが必要になる。

3. 傾き推定による画像マッチング

前述のように、正規化相関マッチングは探索対象画像の傾きが不明の場合、多くの計算コストを要する。この問題を解決するために、入力された濃淡画像からエッジ強度に基づくエッジ方向ヒストグラムを作成し、このヒストグラムのピークから探索すべき部分画像の傾きを推定する。

〈3・1〉 本手法の流れ 本手法は、2次元的な傾きを持つプリント基板における高速画像マッチングを目的としている。プリント基板は図2に示すように、高密度な部品の実装と配線を実現するために、基板に対して垂直および水平方向に部品の配置および配線を施している場合が多い。そのため、プリント基板画像では多くのエッジの方向が垂直および水平方向に分布する傾向がある。したがって、画像全体のエッジ方向ヒストグラムを作成し、そのピーク値を用いて垂直および水平方向からのずれを測定することで、プリント基板の傾きの推定が可能であると考えられる。

図4 エッジ方向ヒストグラム

Fig. 4. Edge direction histogram.

本手法の流れを図3に示す。まず、①入力された対象画像からエッジ方向ヒストグラムを作成する。次に、②作成されたエッジ方向ヒストグラムを用いて、対象画像の傾きを推定する。次に、③その傾きだけテンプレート画像を回転させ、④この回転させたテンプレート画像を用いて正規化相関マッチングを行う。⑤但し、推定された傾きは実際の傾きとは僅かに誤差が発生する可能性があるため、⑥マッチングによって探索された部分画像周辺において、より正確な部分画像の位置と傾きを求めるために再度マッチングを行う。以上に述べたように、事前に傾きのパラメータを推定するため、すべての位置と傾きのパラメータについてマッチングを行う手法と比較して、計算コストの削減が期待できる。以下に、具体的な処理の説明を行う。

〈3・2〉 エッジ方向ヒストグラム 本手法はプリント基板の傾きを推定するために、対象画像から得られるエッジ方向ヒストグラムを用いる。エッジ方向ヒストグラムは、画像内の全画素における2次元的なエッジ方向の頻度分布を表したものである。図4に示すように、画像内の各画素 (i, j) におけるエッジ方向 $\phi_{(i, j)}$ を求め、角度 ϕ ごとに画素数を累積する。エッジ方向ヒストグラムの横軸はエッジ方向の角度値を表し、縦軸は画素数を表している。

エッジ方向ヒストグラムを用いて画像の傾きを計測する手法を用い、撮影された写真の正立性を評価する研究⁽¹¹⁾が報告されている。この手法では、エッジ強度の強い画素だけに限定し、これらの画素におけるエッジ方向のみを対象にして、エッジ方向ヒストグラムを作成している。また、エッジ方向ヒストグラムを作成するために、次式のような累積処理を行っている。

$$H(\phi_{(i, j)}) \leftarrow H(\phi_{(i, j)}) + 1 \quad ((i, j) \in E) \cdots \cdots (4)$$

ここで、 $H(\phi)$ はエッジ方向ヒストグラムの各要素、 $\phi_{(i, j)}$ は画素 (i, j) におけるエッジ方向、 E はエッジ強度の強い画素の集合を示す。しかし、強いエッジ強度を持つ画素以外であっても、画像の傾き推定に有効である画素も存在すると考えられる。例えば、図5(1)に示すプリント基板の画像では、基板に対して垂直方向の配線パターンが多く含まれており、これらの配線パターンから得られるエッジ方向が傾きの推定には有効であると考えられる。しかし、これらの配線パターンは、文献(11)のように入力画像に対してSobelオペレータ⁽¹²⁾を適用し、判別分析法⁽¹³⁾による2値化を

(1) gray-scaled image

(2) edge image

図5 プリント基板のエッジ画像

Fig. 5. Edge image of printed circuit board.

を行い、得られたエッジ画像に対して、非極大値の抑制化⁽¹⁴⁾を行うと、図5(2)に示すように、ほとんどエッジ画素として検出されない。すなわち、プリント基板の傾きを推定する上で重要と考えられる配線パターンは、必ずしもエッジ強度が大きくないため、エッジ方向ヒストグラムの作成にはほとんど利用されないことを意味する。

この問題点を解決するために、強エッジ画素だけではなく、画像内のすべての画素におけるエッジ方向を利用することを考える。しかし、単純にすべての画素におけるエッジ方向を用いてヒストグラムを作成する方法では、濃淡が均一な部分におけるエッジ方向は、僅かな照明の変動によってエッジ方向が大きく変化するため、傾き推定の誤差を引き起こす可能性が生じる。そこで、各画素のエッジ強度の値を重みとして、次式に示すような累積処理を行ってヒストグラムを作成する。

$$H(\phi_{(i, j)}) \leftarrow H(\phi_{(i, j)}) + e_{(i, j)} \cdots \cdots (5)$$

ここで、 $e_{(i, j)}$ は画素 (i, j) におけるエッジ強度を示す。つまり、濃淡の均一な部分では各画素のエッジ強度が小さいため、これらの画素はヒストグラムにほとんど影響しなくなる。逆に、部品の境界部分に存在する画素は背景とのコントラストが強いためエッジ強度が大きくなり、ヒストグラムに大きく影響する。このように各画素におけるエッジ強度を重みとすることで、入力画像内の全画素を効果的にエッジ方向ヒストグラムの作成に利用することができ、より精度の高い傾き推定が可能になると考えられる。本手法では、比較的ノイズの影響を受けにくいSobelオペレータを用いてエッジ強度とエッジ方向を求める。また、エッジ方向ヒストグラムの方向角度に関する分解能は 1° とする。

〈3・3〉 傾き推定 プリント基板画像に対してエッジ方向ヒストグラムを 0° から 359° の範囲で作成すると、多くの場合ヒストグラムにピークが4つ出現すると考えられる。これは、〈3・1〉節でも述べたように、基板に対して垂直および水平方向に多くの部品と配線パターンが配置されているため、垂直および水平方向のエッジが多く分布することが理由である。図6は、プリント基板を 90° ずつ回転させ各画像のエッジ方向ヒストグラムを求めた結果例を示す。各画像ともに同じ傾きのところにピークを持つため、推定される傾き候補は4種類存在することになる。つまり、傾きが不明なプリント基板画像であっても、傾きに関するパラ

図 6 画像の傾きとエッジ方向ヒストグラムとの関係

Fig. 6. Relation between inclination of image and edge direction histogram.

メータが未知の状態から 4 種類にまで候補が限定されるため、全ての傾きパラメータについてマッチングを行う手法と比較して大幅な処理の効率化が期待できることになる。

本手法では、前述のようなプリント基板の画像特徴から、ヒストグラムのピークが 90° 間隔で存在することを考慮して、各画素 (i, j) のエッジ方向 $\phi_{(i,j)}$ を次式のように変換することで 90° 単位にエッジ方向ヒストグラムの累積処理を行う。

$$\begin{cases} \phi_{(i,j)} & (0 \leq \phi_{(i,j)} < 90) \\ \phi_{(i,j)} - 90 & (90 \leq \phi_{(i,j)} < 180) \\ \phi_{(i,j)} - 180 & (180 \leq \phi_{(i,j)} < 270) \\ \phi_{(i,j)} - 270 & (270 \leq \phi_{(i,j)} < 360) \end{cases} \dots\dots\dots (6)$$

式 (6) によって変換されたエッジ方向を用いて、エッジ方向ヒストグラムを作成する。そして、検出されたピークにおける傾き $\phi_{\max}$ ($0 \leq \phi_{\max} < 90$) から、次式により 4 種類の傾き $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ が推定される。

$$\theta_n = \phi_{\max} + (n-1) \cdot 90 \quad (n=1, 2, 3, 4) \dots\dots\dots (7)$$

〈3・4〉 マッチング処理 推定された 4 種類の傾き $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ を用いてテンプレート画像 T を回転させ、正規化相関マッチングを行う。このとき、テンプレート画像 T の各画素 (i, j) を次式によって座標変換した画素 (i', j') を求め、これらの画素と対象画像の各画素間で式 (1) を用い、マッチングを行う。

$$\begin{cases} i' = i \cdot \cos \theta_n + j \cdot \sin \theta_n \\ j' = -i \cdot \sin \theta_n + j \cdot \cos \theta_n \end{cases} \quad (n=1, 2, 3, 4) \dots\dots\dots (8)$$

対象画像内の全ての画素についてマッチングが終了したとき、最大のマッチング率が得られた座標 (m, n) と傾き θ_n を用い、座標値 $(m \pm p, n \pm p)$ 、傾き $\theta_n \pm q^\circ$ の範囲内において、最終的に精密な位置決めを行う。これは、照明の不均一性などが原因となり、エッジ方向ヒストグラムから推定される傾きが、実際の傾きと比較して僅かな誤差が発生する可能性があるためである。

図 7 テンプレート画像と実験用画像例

Fig. 7. Examples of template images and experimental images.

表 1 傾き推定値の比較

Table 1. Comparison of estimated inclination.

		Image			
		(a)	(b)	(c)	(d)
Average error	Ref. (11)	1.86	2.23	1.86	1.86
	Proposed method	1.50	1.87	1.73	1.57
Maximum error	Ref. (11)	4.0	5.0	5.0	5.0
	Proposed method	4.0	4.0	4.0	3.0
Standard deviation	Ref. (11)	2.26	2.68	2.35	2.47
	Proposed method	1.83	2.18	1.90	1.96

4. 実験と結果

以上に述べた手法を用い、プリント基板画像内から位置

図 8 エッジ方向ヒストグラムの結果例

Fig. 8. Examples of generated edge direction histogram.

と傾きが不明な部分画像を探索する実験を行った。

〈4・1〉 実験条件 実験には、図 7 に示す 4 種類のプリント基板の画像を用いた。カメラに対して、これらのプリント基板の 2 次元的位置と傾きを変化させ、各々の画像内から目的とする部分画像領域を探索する。図 7 の各画像の上にテンプレート画像を示す。テンプレートの画像のサイズは、画像 (a) は 47×20 画素、画像 (b) は 12×36 画素、画像 (c) は 29×22 画素、画像 (d) は 51×33 画素である。また、探索対象画像のサイズは 256×192 画素で

ある。処理系には、Pentium4-1.8GHz を用いた。

〈4・2〉 傾き推定精度 まず、本手法で提案したエッジ方向ヒストグラムを用いて推定される傾きの精度を検証した。画像 (a), (b), (c), (d) の各々について、傾きが既知の 30 枚の画像を用いて、推定された傾きの精度を調べた。各画像は、プリント基板を機械式の回転ステージ上に乗せ、回転ステージを各種の定角度だけ回転させて撮影した。参考のため、〈3・2〉節で説明した強エッジ画素のみによって作成されたエッジ方向ヒストグラムを用いて傾き推定する

文献(11)の手法との比較を行った。本手法では4種類の傾きが推定されるが、各々の傾きを用いて対象画像内で正規化相関マッチングを行い、最大マッチング率が得られた傾きを、その画像で推定された傾きとした。

表1に結果を示す。画像(a), (b), (c), (d)それぞれについて、推定された傾きの誤差は平均 $\pm 2^\circ$ 以内であり、比較的良好な精度を保持しているといえる。文献(11)の手法と比較しても、平均誤差、最大誤差、標準偏差のいずれも優れた結果を示した。特に画像(a)は、平均誤差と標準偏差の点で4種類の画像の中で最も傾きの精度が高かった。これは、他の画像と比較すると画像内に配線パターンが比較的多く、本手法で作成したエッジ方向ヒストグラムの恩恵を多く受けることができたのが理由と考えられる。画像(d)は、画像中に円形の部品が多く推定精度低下の原因になると感じられるが、他の画像と比較しても同等の推定精度が得られている。これは、円形の部品は全ての方向に均一なエッジ強度とエッジ方向を持っているため、エッジ方向ヒストグラムにはさほど影響を与えないためと考えられる。一方で、最大誤差が 4° の場合もあり、精度の更なる向上は今後の検討課題であるといえる。

図8は、各画像について生成されたエッジ方向ヒストグラムの結果を示している。エッジ方向ヒストグラムの縦軸は、累積総数が1となるように正規化を施してある。また、エッジ方向ヒストグラム内の縦の破線は回転ステージによる実際のプリント基板の傾きを式(5)によって 0° から 90° の範囲内に変換した傾き、2つの $\times$ 印は各々提案手法および文献(11)の手法によって得られたエッジ方向ヒストグラムのピークを示している。つまり、破線とピークとのずれが誤差を表している。提案手法で作成されたエッジ方向ヒストグラムと文献(11)の手法によって作成されたヒストグラムとを比較すると、類似した形状をしているが、表1に示した推定精度の結果と同様、提案手法の方が破線に近い位置にピークが得られており、精度が高いことがわかる。図8は、エッジ画像も示しているが、〈3・2〉節で述べたように、配線パターン部分はエッジ強度が弱いため、エッジとして検出されていない。提案手法では画像全体の画素の情報を利用し、エッジ方向ヒストグラム作成にエッジ強度を重みとすることによって、傾き推定に対する各画素の重要性が評価されているといえる。この効果から、文献(11)の手法と比較して高い精度が得られたと考えられる。

〈4・3〉 マッチング結果 次に、傾きの精度比較に使用した画像を含めて、画像(a), (b), (c), (d)の各々について、位置と傾きの異なる60枚の画像を用いて、対象画像内からテンプレート画像と類似する部分画像を探索する実験を行った。部分画像探索の正誤に関する判定は、位置が ± 2 画素、傾きが $\pm 2^\circ$ 程度以上の誤差が視察により観測される場合は、探索に失敗したとみなした。また、〈3・4〉節で述べた精密位置決めのためのパラメータは、座標値 $p = 3$ 、傾き $q = 5$ として最終的な位置決めを行った。

図9(i)の画像は、推定された傾きを用いて正規化相関マッ

(i) by only estimated inclination

(ii) final result

図9 マッチング結果

Fig. 9. Matching results.

チングを行った結果である。黒枠で示した部分が探索された部分画像である。いずれの画像についても正しく部分画像の探索がされた。240枚の画像について探索実験を行った結果、部分画像をすべて正しく探索することができた。

その後、探索された位置の近傍で精密位置決めを行った結果を図9(ii)に示す。図9(i)と図9(ii)は同一の対象画像である。240枚の画像全てについて、精密な位置決めが正しく行われ、部分画像の探索率は100%を記録した。図9(i)と図9(ii)の探索結果を比較すると、僅かではあるが探索結果が異なっているのがわかる。このずれが傾き推定の誤差であるが、図9(i)を見ると、図9(ii)に示した精密な位置決め結果とほぼ同一な結果が得られていることがわかる。

以上の結果から、提案手法で推定された傾きは、部分画像の探索に十分な精度を持つといえる。また、その後の近傍マッチングにより正確な位置決めが完了していることから、提案手法が部分画像探索において十分な信頼性を保持しているといえる。計算コストの点では、4回のみのマッチングで位置と傾きに関して自由度を持つ部分画像の位置と傾きを特定し、その後の精密探索の範囲を大幅に削減していることから、提案手法が高速化に有効であるといえる。

表 2 平均探索時間

Table 2. Averaged matching time.

	(a)	(b)	(c)	(d)
Conventional method	1198.7	611.6	889.9	1487.3
Ref. (11)	14.47	7.27	10.48	17.88
Proposed method	14.01	7.12	10.26	17.59

〈4・4〉 処理時間 提案手法を用いて、部分画像探索に要した平均処理時間を表 2 に示す。4 種類の各テンプレート画像の探索処理に平均で約 12 秒を要した。位置と傾きに関するすべての姿勢パラメータの組み合わせについて探索を行う従来手法では、探索処理に約 17 分を要しており、提案手法の探索時間は、約 1% 程度にまで短縮されている。このことから、提案手法によって大幅な探索時間の削減が実現できたといえる。

次に、傾き推定に文献 (11) の手法を用いた場合との探索時間の比較を行った。提案手法では、エッジ方向ヒストグラム作成の際に、対象画像の全画素についてエッジ方向を調べることが必要になるため、文献 (11) の手法を用いた場合と比べて計算コストの増加が懸念される。しかし、表 2 に示した結果のように、若干ではあるが提案手法の方が高速である。これは、強エッジ画素を抽出するための判別分析法、非極大値の抑制化という、計算コストの要する処理が不要であるからである。

5. まとめ

プリント基板を対象に、対象画像内から位置と傾きに関して 2 次元的な姿勢自由度を持つ部分画像を、高速に探索するための手法を提案した。提案手法では、プリント基板の画像特徴を利用し、エッジ強度を重みとしたエッジ方向ヒストグラムを利用することにより、探索すべき部分画像の傾きを推定し、探索処理の高速化を実現している。4 種類のプリント基板画像について実験を行った結果、十分な傾き推定精度が得られ、探索成功率は 100% を記録した。また、位置と傾きに関する全ての姿勢パラメータの組み合わせについて探索を行う従来手法と比較して、探索時間は約 1% に短縮され、大幅な高速化が実現できた。

今後の課題としては、探索処理の更なる高速化を目的とした、エッジ方向ヒストグラムの改良による推定される傾き候補の削減、および傾き推定精度の向上が挙げられる。

(平成 14 年 10 月 28 日受付)

文 献

- (1) 加藤敦彦:「グレースケール画像処理の動向とその応用」, 電子技術, Vol.1990-12, pp.72-78 (1990)
- (2) 水谷栄二:「グレースケールパターンマッチングを用いた FA 用画像処理装置とその応用例」, O plus E, 141, pp.141-152 (1991)
- (3) S.K. Kenue: "Detection of Lane Boundaries and Vehicle Tracking Using Image-processing Techniques", SPIE, Vol.1195, pp.234-245 (1989)

- (4) W.M. Silver: "Normalized Correlation Search in Alignment, Gauging, and inspection", SPIE, Vol.755, pp.23-34 (1987)
- (5) D.I. Barnea: "A Class of Algorithm for Fast digital Image Recognition", IEEE Tran. Comput., Vol.C-21, pp.179-186 (1972)
- (6) H. Itoh, T. Hirata, and N.Ishii: "Machine Parts Recognition and Processing Using Fourier descriptors", IEICE, Vol.J71-D, No.6, pp.1065-1073 (1988-6) (in Japanese)
伊藤豪俊・平田達也・石井直宏:「フーリエ記述子を用いた部品の形状認識と処理」, 信学論誌 (D), J71-D, 6, pp.1065-1073 (1988-6)
- (7) C.C. Chen: "Improved Moment Invariants for Shape Discrimination", Pattern Recognition, Vol.26, No.5, pp.683-686 (1993-5)
- (8) D.H. Ballard: "Generalizing the Hough Transform to Detect Arbitrary Shapes", Pattern Recognition, Vol.13, No.2, pp.111-122 (1981-2)
- (9) K. Shoji: "A Method for Partial Shape Recognition", T. IEE Japan, Vol.115-C, No.3, pp.423-429 (1995-3) (in Japanese)
東海林健二:「部分形状認識の一手法」, 電学論誌 C, 115, 3, pp.423-429 (1995-3)
- (10) F. Saitoh: "Rotation Invariant Image Matching Based on Correlation of Curvature Distribution", T. IEE Japan, Vol.122-D, No.10, pp.975-981 (2002-10) (in Japanese)
斉藤文彦:「曲率分布相関に基づく回転対応 2 次元画像照合」, 電学論誌 D, 122, 10, pp.975-981 (2002-10)
- (11) 大英美・斉藤文彦:「最頻度エッジ方向に基づく画像の傾き検出と視覚的傾斜角との関係」, 画像電子学会第 194 回研究会予稿, 02-01-03, pp.13-19 (2002)
- (12) I.E. Abdou and W.K. Pratt: "Quantitative Design and Evaluation of Enhancement/Thresholding Edge Detectors", Proc. IEEE, Vol.67, No.5, pp.753-763 (1979)
- (13) N. Otsu: "A Threshold selection Method from Gray-level Histograms", IEEE Trans. on SMC, Vol.9, No.1, pp.62-66 (1979-1)
- (14) A. Rosenfeld and M. Thurston: "Edge and Curve Detection for Visual Scene Analysis", IEEE Trans. Computer., Vol.20, No.5, pp.562-569 (1971-5)

後 藤 邦 博 (学生員) 2001 年岐阜大学工学部応用情報学科卒業。2003 年同大学院工学研究科博士前期課程修了。現在、同大学院工学研究科博士後期課程在学中。遺伝的アルゴリズム、画像処理の研究に従事。

斉 藤 文 彦 (正員) 1981 年慶大・工・数理卒。日本 IBM (株) 等を経て、1999 年岐阜大学工学部応用情報学科助教授。2003 年同教授。博士 (情報科学, 工学)。マシンビジョン、視覚情報処理の研究に従事。精密工学会、電子情報通信学会、画像電子学会等会員。