Rotation Invariant Image Matching by Geometrical Parameter of Equidistantly Edge Pixels Group

Hiroki Hayashi Non-member (Gifu University)

Fumihiko Saitoh Member (Gifu University)

Keyword : Template matching, Edge directions, difference of directions, accumulation processing

The template matching is a method to search a target image area that is similar to a template image in an objective image. The template matching is a simple method. However, the target image must have the right position as the template image. Therefore it needs large computational cost because two-dimensional pose parameters must be set for the sequential matching when the target image has a free location and a free inclination. The paper proposes a method to search a target image area that has a free location and a free inclination by using geometrical parameter of equidistantly edge pixels group.

In this method, the difference of directions is calculated from the edge direction of a referenced edge pixel in an image area and the direction from the referenced edge pixel to other selected edge pixels. The difference of direction is not changed by inclination of an image as shown in Fig.1. The difference of directions of template image and the difference of directions of objective image are matched at each edge pixel. The matched ratio is accumulated

to the accumulation space. The matched ratio is also accumulated into the inclination histogram that represents the distribution of inclined angles as shown in Fig. 2. Then the location of the target image area is searched by scanning the accumulation space. After that, the inclination histogram is also searched. The maximum peak in the histogram is extracted as the inclination of the target image area.

An example of a template image and a resultant image are shown in Fig. 3. The experimental results show that the processing time of the proposed method is short. The proposed method had higher reliability for matching.

Fig. 1. The rotation invariant parameters

Fig. 2. Accumulation to accumulation space and inclination histogram

Fig. 3. Examples of searched objective image areas

等距離エッジ点群の幾何特徴に基づく回転対応画像照合

非会員 林 宏樹* 正員 斉藤 文彦*

Rotation Invariant Image Matching by Geometrical Parameter of Equidistantly Edge Pixels Group

Hiroki Hayashi*, Non-member, Fumihiko Saitoh*, Member

The template matching is a method to search a target image area that is similar to a template image. However, the target image area must have the right position as the template image generally. Therefore it requires large computational cost when a location and an inclination of the target image area are unknown. This paper proposes a method to search a target image area that has a free location and a free inclination by geometrical parameters obtained by equidistantly edge group. In this method, the difference of directions is calculated by the edge direction of a referenced edge pixel and by the directions from the referenced edge pixel to other selected edge pixels. After that, the matching process is performed by using the difference of directions and matching rates are accumulated. Then the location and inclination of the target image area are searched by scanning the accumulation space. The experimental results show that the proposed method had higher reliability and less computational cost for image matching.

キーワード：テンプレートマッチング，エッジ方向，方向差，累積処理

Keywords : Template matching, Edge directions, difference of directions, accumulation processing

1. はじめに

あらかじめ用意しておいたテンプレート画像と類似した部分画像を対象の画像内から探索するテンプレートマッチングは，テンプレート画像の設定という単純な操作で目的を達成することができるため，汎用性が高いことが特長である⁽¹⁾。そのため，現在では，計測や位置決め，欠陥検出などの工業用画像処理を代表とした幅広い分野で使用されている。正規化された濃度相関⁽⁴⁾⁽⁵⁾や絶対濃度差の二乗和⁽²⁾⁽³⁾に基づく手法は代表的な手法として知られているが，これらの手法は，画素単位で照合を行うため，探索すべき部分画像は，テンプレート画像に対して正立に近い状態であることが条件となり，対象とする画像が任意の傾斜角を持つ場合には，適用が困難となる。

本論文では，探索対象となる部分画像が任意の傾斜角を持つ場合であっても，高速に照合を行う手法を提案する。画像の 2 次元的な姿勢変化と位置の変化に対して影響を受けない特徴量として，エッジ画素の相対的な位置関係に着目する。具体的には，画像領域内に存在するあるエッジ画

素と，一定の距離離れた位置に存在しているエッジ画素について，エッジ方向と，双方のエッジ画素を結ぶ方向との差を求め，その方向差を照合する。累積した照合結果から，探索すべき部分画像の位置と傾きを求める。

2. 従来の回転対応画像照合手法

対象物の 2 次元的な姿勢変化の影響を受けない画像照合を行う代表的な手法として，一般化 Hough 変換⁽⁶⁾ヒストグラム照合法⁽⁷⁾⁽⁸⁾などが提案されている。一般化 Hough 変換は，エッジ画素を用いて投票処理を行うことにより，姿勢やスケール変化の影響を受けにくい照合が可能であるが，各種の姿勢変化に対応しようとする，膨大なメモリ空間と処理時間を要する。

部分画像の濃度ヒストグラムの一致度に基づいて照合を行うヒストグラム照合法は，濃度ヒストグラムが回転不変の特徴量であるため，画像の 2 次元的な姿勢変化の影響を受けない照合が可能である。しかし，濃度ヒストグラムには，対象物の形状情報が含まれていないため，探索すべき部分画像の傾きを直接的に検出することは困難である。また，類似した濃度分布を持つ部分画像において誤照合を起こす危険性が生じる。画像の方向性を利用した手法としては，エッジ方向のヒストグラムを照合に使用する手法が考えられる。また著者らも，形状情報を含んだヒストグラム

* 岐阜大学
〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1
Gifu University,
1-1 Yanagido, Gifu, Gifu 501-1193

図 1 回転不変な特徴量
Fig. 1. Rotation invariant parameters.

として、エッジ方向に基づいた回転不変な特徴量を使用する画像照合法として幾何エッジヒストグラムを用いた手法⁽¹³⁾を提案した。これは、2つの回転不変な特徴量をからなる二次元ヒストグラムの形状の類似性を照合キーとして、目的とする画像の位置を探索する手法である。しかし、これらの手法では、位置と傾き角度を同時に探索するためには、傾きを表すパラメータを新たに適用する、回転角度を変更しながら複数回の照合を行うなどの処理を追加する必要があり、計算コストを要するという問題がある。一方、本論文で提案する手法は、複数のエッジ画素間の相対的な位置関係から計算される幾何学的特徴量を照合キーとしている点において、文献(13)とは異なるアルゴリズムを採用している。これによって、位置の探索と同時に回転角度の検出も可能としている点に特長がある。

3. 等距離エッジ点群の幾何特徴

提案手法では、以下に示す回転不変な特徴量である方向差 θ を使用して照合を行う。図 1(a)に示すように、画像領域内のエッジ画素 p を中心とした、半径 R の円上を走査し、円と交差するエッジ画素を探索する。画素 p と、円との交点となったエッジ画素 q の相対的な位置関係は、画像の回転の影響を受けない。例えば、図 1(a)中の画素 p におけるエッジ方向 θ_e と画素 p から画素 q へ方向角 θ_{v1} はそれぞれ、回転した図 1(b)においては、 θ_e' 、 θ_{v1}' へと変化する。しかし、 θ_e と θ_{v1} との差 θ_{m2} と、 θ_e' と θ_{v1}' との差 θ_{m2}' はそれぞれ等しく、姿勢変化前と後で変化しない。以下、ここで説明した θ_{m2} のように、あるエッジ画素におけるエッ

図 2 提案手法の流れ
Fig. 2. Flow-chart of the proposed method.

ジ方向と、そのエッジ画素を中心とする半径 R の円上に位置するエッジ画素への方向角との差を方向差 θ と呼ぶことにする。方向差 θ は、画像の回転および位置の変化に対して不変な特徴量となる。提案手法では、方向差 θ を特徴量とし、複数の方向差の一致度に基づいて画像照合を行う。また、画素 p におけるエッジ方向 θ_e は画像の回転量に等しい変化をおこす。すなわち、姿勢変化前と後のエッジ方向 θ_e と θ_e' の差を求めることで、画像の傾き角度を求めることが可能となる。そのため、一回の照合で位置と角度の検出を行える。

図 2 に手法の流れを示す。円形テンプレート画像からエッジ画素を抽出し、テンプレートテーブル登録に必要な半径 R を決定する。テンプレート登録半径 R に基づいてエッジテンプレート画像を走査し、各エッジ画素について特徴量を求めてテンプレートテーブルに登録を行う。その後対象画像の各エッジ画素に対してテンプレートテーブル内の全てのデータを照合させ、累積空間と角度候補ヒストグラムに累積を行う。全てのエッジ画素に対して累積を行った後、累積空間と角度候補ヒストグラムを走査し、累積値が最大となる探索すべき部分画像の位置と傾きを求める。以下に各処理過程について詳しく説明する。

4. テンプレート登録過程

〈4・1〉 エッジ抽出 画像パタンの幾何学的な特徴は、主に輪郭をあらわすエッジ部分に現れることから、提案手法では、各エッジ画素における幾何学的特徴量をテンプレートテーブルへ登録する。エッジ画素は、Sobel オペレータ⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾によってエッジ強度画像を生成し、判別分析法⁽¹¹⁾によって求めた閾値によって 2 値化を行い、非極大値の抑制化⁽¹²⁾によって細線化を行うことで抽出する。

〈4・2〉 テンプレート登録半径 〈4・1〉 節で得られたエッジ画素について、テンプレートテーブルへ登録を行う。

図3 テンプレートテーブル登録パラメータ

Fig. 3. Parameters of template table registration.

各エッジ画素ごとに、その画素を中心とする半径 R の円と交差するエッジ画素を、特徴量の計算の対象とする。この半径 R をテンプレート登録半径と呼ぶことにする。テンプレート登録半径 R は、任意に決定することが可能であるが、テンプレート登録半径 R によって交点画素数が変化し、テンプレートテーブルに登録されるデータの数変動する。テンプレートによっては、登録半径 R の値が認識率に大きな影響を与える可能性がある。そこで本手法では、テンプレート画像中の全エッジ画素から求められる交点画素の総数が最大となる値とする。これは、照合に使用されるデータが多い方が照合の信頼性が高くなると考えられるためである。各画像について適切なテンプレート登録半径を、6章で述べる実験によって検討を行う。テンプレート登録半径 R は、以下に述べるテンプレートテーブルとは別に記録しておく。

〈4・3〉 テンプレートテーブルの登録 テンプレートテーブルへ登録されるパラメータは、図3に示すように、参照エッジ画素 p を中心としたテンプレート登録半径 R の円と交差するエッジ画素数、すなわち交点画素数 c_t 、参照エッジ画素 p のエッジ方向 θ_{et} 、参照エッジ画素 p からテンプレート画像中心 O への方向 θ_{tc} 、参照エッジ画素 p からテンプレート画像中心 O までの距離 L 、方向差リスト $\theta_t[i] (1 \leq i \leq c_t)$ の5種類である。これらパラメータは、テンプレート画像中のエッジ画素数 n だけ登録される。なお、方向差リスト $\theta_t[i]$ とは、参照エッジ画素 p と、各交点画素から求められる方向差 θ_t によって生成されたリストである。参照エッジ画素からテンプレート中心までの距離 L と方向 θ_{tc} は位置候補の計算に、方向差リスト $\theta_t[i]$ は照合に、交点画素数 c_t は一致率の計算に使用する。参照エッジ画素のエッジ方向 θ_{et} は、位置候補の計算と、画像の傾き角度の推定に使

用される。なお、テンプレートテーブルへ登録されるパラメータは、エッジ画素毎に計算されるため、対象とする図形は連結している必要はない。

5. 照合過程

〈5・1〉 方向差リストの照合 テンプレートテーブル登録の後、登録された方向差のリスト $\theta_t[i]$ との照合を行う。まず、対象画像中のあるエッジ画素 $r(x, y)$ に対して、テンプレート登録半径 R を用いて交点画素を探索する。交点画素が存在する場合、各交点画素に対して、方向差 θ を求め、照合用の方向差のリスト θ_j を生成する。

探索対象画像中の部分画像から生成された、照合用の方向差のリスト θ_j と、テンプレートテーブル中の全ての登録された方向差リスト $\theta_t[i]$ と照合を行う。なお、テンプレートテーブルに登録された各方向差リストと照合を行う際、対象画像の回転による量子化誤差や、ノイズの混入によって、正しい位置から生成された方向差のリストであっても、一般的に、完全には一致しない。このような問題を回避するため、図4(a)に示すように、照合前に、照合用の方向差リスト θ_j の先頭の方角差と、方向差リスト $\theta_t[i]$ の先頭の方角差との差が最小となる位置を探索し、図4(b)のようにシフトさせる。このとき求めた差が $\pm 5^\circ$ 以上のときは、信頼性の低いデータである可能性が高いと考えられるので、照合を行わないこととする。

照合は、図4(b)に示すようにシフトさせた照合用の方向差リスト θ_j と、登録された方向差リスト $\theta_t[i]$ の先頭から行われる。リスト中の方向差を比較して、誤差が $\pm 5^\circ$ 以内の場合、方向差が一致したとみなして、一致数 N_u を1増やす。方向差が一致しない場合、例えば図4(c)に示すように、 $\theta_j[3]$ と $\theta_t[2]$ との差が大きく、一致しないとみなされた場合に

図4 方向差リストの照合

Fig. 4. Matching processing between difference of direction lists.

は、方向差リスト θ_j を走査し、 $\theta_j[4]$ と $\theta_t[2]$ を照合する。その後、図 4(d) に示すように、それぞれの方向差リストで一致したとみなされた位置の、次の位置から照合を続ける。方向差リスト θ_t の最後尾に存在する方向差 $\theta_t[c_t]$ の照合が終了した時点で、照合によって得られた一致数 N_u と交点画素数 c_t から、下式によって一致率 U を求め、以下に述べる累積処理を行う。

$$U = N_u / c_t \quad \dots\dots\dots (1)$$

〈5・2〉 位置候補の決定と累積 次に、探索すべき部分画像の位置候補 $O'(x_{vt}, y_{vt})$ を求める。位置候補を求めるための基準点 O は、テンプレート画像領域の中心とした。位置候補を計算するため、まず、画像の傾きを傾き候補として求める。傾き候補 θ_c は、照合を行ったテンプレートテーブルに記録された参照画素のエッジ方向 θ_{et} と対象画像中の参照画素のエッジ方向 θ_{ei} から、下式によって求める。

$$\theta_c = \theta_{ei} - \theta_{et} \quad \dots\dots\dots (2)$$

傾き候補と、テンプレートテーブルに登録されているテンプレート中心への方向を加算することで、参照画素からの相対的な位置候補の方向 θ_{vt} を求め、テンプレートテーブルに登録された、テンプレート中心までの距離 L を使用し、下式のように、参照画素を回転の中心として基準点を回転

図5 累積空間と傾き候補ヒストグラムへの累積
Fig. 5. Accumulation into accumulation space and inclination histogram.

させ、位置候補 $O'(x_{vt}, y_{vt})$ を求める。

$$\left. \begin{aligned} x_v &= x + L \cdot \cos(\theta_v) \\ y_v &= y + L \cdot \sin(\theta_v) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (3)$$

基準点の回転先が、探索すべき部分画像の候補位置となる。

次に、画像と同サイズの、全ての座標を 0 で初期化した 2 次元の累積空間と、累積空間の各座標に対応した 1 次元の傾き候補ヒストグラムを準備する。この累積空間内の位置候補に対応する座標に、図 5 に示すように、〈5・1〉節で求めた一致率 U を重みとした累積を行う。その後、その位置に対応した傾き候補ヒストグラムに対して、同様に、一致率 U を重みとして累積する。

〈5・3〉 位置と角度の決定 対象画像内に存在する全てのエッジ画素に対して、〈5・2〉節までの処理を行った後、累積空間を走査して、累積値が最大となる座標を探索すべき部分画像の位置として求める。但し、〈5・2〉節で求めた累積位置は実際には実数であり、累積空間の座標は整数であるため、累積処理が、周囲へ分散する危険性があると考えられる。このような位置ずれの影響を低減するため、累積空間の平滑化を行い、最大累積値を持つ座標を求める。

最大累積値を持つ座標、すなわち探索すべき部分画像の位置を決定した後、画像の傾き角度を決定する。最も頻度が高い傾き候補が画像の傾きを表すと考えられるため、最大累積値を持つ位置に対応した、傾き候補ヒストグラム内の最大頻度を取る角度を画像の傾き角度とする。そのため、検出した回転角度に多義性はない。但し、完全に点対称形状の対象物の場合は、傾き候補ヒストグラムに 2 つのピークが発生し、いずれか最大頻度となる方の角度が選択されることが考えられる。傾き候補ヒストグラムについても、累積位置の微小な位置ずれの影響を考慮し、最大累積値を持つ座標に対応するヒストグラムだけではなく、その近傍 8 座標に対応する傾き候補ヒストグラムを累積したヒストグラムから傾き角度を探索する。

図 6 実験画像例

Fig. 6. Examples of experimental images.

図 7 探索された画像例

Fig. 7. Examples of searched objective image areas.

6. 実験と結果

〈6・1〉 実験条件 以上に述べた手法を用い、対象画像内に存在する、位置および傾きが不定な部分画像を探索する実験を行った。図 6 に示す(a)image1, (b)image2, (c)image3, (d)image4 の 4 種類の画像を準備し、機械式ターンテーブルを用い、 3° ずつ回転させながらそれぞれ 120 枚の画像を撮影した。対象画像は、すべて 256 階調の濃淡画像であるが、照合処理の際は、図 6(a), (b), (c), (d)の右側に示すように、細線化処理を行ったエッジ画像を用いる。画像のサイズは 256×192 画素である。図 6(a), (b), (c)については、それぞれ、各画像の左側に示す、正立状態の画像から切り出したテンプレート画像を用意した。図 6(d)の画像については、図 6(c)の画像において、一部に隠蔽が発生した状態を想定し、図 6(c)と同一のテンプレート画像を使用した。テンプレート画像のサイズは、それぞれ、図 6(a)は直径 47 画素、図 6(b)は直径 63 画素、図 6(c)は直径 77 画素である。処理系には、Pentium4-3.4GHz を用いた。今回は、比較手法として一般化 Hough 変換、幾何エッジヒストグラム空間を用いる手法を用いた。なお、幾何エッジヒストグラム空間を用いる手法のパラメータは、文献 (13) にお

ける実験条件と等しくし、回転角度の検出は行わないこととした。なお、認識の正誤に関しては、発見された部分画像の位置と傾きを目視判定し、 ± 3 画素以内の位置、 $\pm 5^\circ$ 以内の傾きであれば探索に成功したと見なした。

〈6・2〉 探索結果 図 7 に、探索結果の例を示す。回転した対象画像から、テンプレート画像と一致性の高い部分画像が正しく提示されていることがわかる。

表 1 から、image1, image2, image3 に関しては、位置と角度に関して 100%の認識率を記録した。一方、image4 に関しては、98.33%で、僅かではあるが誤認識が発生した。これは、探索すべき部分画像の一部に隠蔽が発生しており、その部分に関しては照合が正しく行われなかったことが理由と考えられる。但し、十分に高い認識率が得られている。

表 3 に提案手法との比較のために、一般化 Hough 変換によって探索を行った認識率を示す。認識率は、image3 で 2.5%を示し、image1, image2, image4 では 0%と、低い値となった。これは、実験に使用した画像のエッジ画素が多く、部分的に類似した画像パターンが含まれていたことや、誤投票が非常に多く行われたことが原因と考えられる。また、幾何エッジヒストグラムを用いる手法では、表 4 で示すように、image1, image2 では 100%, image3 では

表 1 認識率

Table 1. Recognition rates.

Image	Radius of registration	Recognition rate (%)
image 1	20	100.00
image 2	36	100.00
image 3	19	100.00
image 4	19	98.33

表 2 処理時間とエッジ画素数

Table 2. Processing time and number of edge pixels.

Image	Number of edge pixels (template)	Number of edge pixels (objective image)	Processing time (sec.)
image 1	236	4014	2.73
image 2	270	2318	1.54
image 3	183	1535	0.70
image 4	183	1642	0.77

表 3 一般化 Hough 変換による認識率・処理時間

Table 3. Recognition rates and processing time by Generalized Hough Transform.

Image	Processing time (sec.)	Recognition rate (%)
image 1	3.72	0.00
image 2	3.54	0.00
image 3	3.38	2.50
image 4	3.47	0.00

表 4 幾何エッジヒストグラムによる認識率
(位置のみ)・処理時間

Table 4. Recognition rates (position only) and processing time by Geometrical edge histogram.

Image	Processing time (sec.)	Recognition rate (%)
image 1	2.95	100.00
image 2	4.35	100.00
image 3	5.41	99.16
image 4	5.38	73.33

図 8 累積空間の例

Fig. 8. Examples of accumulation space.

99.16%, image4 では 73.33% となり, 一般化 Hough 変換と比較して有効性が確認されたが, 提案手法には及ばなかった。これは, 類似した形状の部品の存在や, 隠蔽によるヒストグラムの形状変化が影響したものと考えられる。

図 8 は, 図 7 に示した各結果について, 累積空間内の累積値の分布状態を示す。いずれの画像についても, 正しい位置で大きな累積値のピークが存在していることがわかる。

〈6・3〉 処理時間 提案手法による処理時間と各画像におけるエッジ画素数を表 2 に示す。処理時間は, 後述するテンプレート登録半径の設定処理も含めたテンプレート登録および結果画像の表示の処理も含めて, 0.7 秒から 3 秒程度であった。これは, 表 3, 表 4 に示す, 一般化 Hough 変換の 3~4 秒程度や, 幾何エッジヒストグラムを用いる手法での 3 秒から 5 秒程度と比較して十分高速であるといえる。また, 対象画像に存在するエッジ画素が多いほど処理時間を要している。処理時間の内訳を調査したところ, 方向差リストの照合に計算コストを費やしていることが分かった。提案手法では, 対象画像中の全てのエッジ画素につ

いて, テンプレートテーブルに登録された全ての方向差リストを照合している。この処理の中には, 正しい位置へ累積されない照合が多数含まれていることから, 例えば方向差リストのデータ数が明らかに異なる場合には照合を行わないなどの条件を付加することにより, 処理時間を短縮できる可能性がある。

〈6・4〉 テンプレート登録半径 テンプレート登録半径が, 認識率に与える影響を評価するための実験を行った。実験を行ったテンプレート登録半径は, 提案手法によって自動的に決定された値, 定数および各テンプレート画像の半径の 3 種とした。なお, 定数には, 表 1 に示す, 各画像について提案手法によって自動決定されたテンプレート登録半径の平均値である 24 を用いた。表 5 は, 定数, すなわち自動決定された半径の平均値を用いた場合の認識率, 表 6 はテンプレート画像の半径を用いた場合の認識率を示す。表 1, 表 5, 表 6 から, テンプレート登録半径は, 交点画素の総数が最大となる値に自動決定した場合に認識率が最も高いことが分かる。特に image1 と image4 については, 提案手法によって自動決定された登録半径を使用しない場

表 5 認識率 (テンプレート登録半径=定数)

Table 5. Recognition rates.
(radius of registration is constant).

Image	Radius of registration	Recognition rate (%)
image 1	24	90.00
image 2	24	100.00
image 3	24	99.17
image 4	24	95.83

表 6 認識率 (テンプレート登録半径=テンプレート半径)

Table 6. Recognition rates
(radius of registration is half of template size).

Image	Radius of registration	Recognition rate (%)
image 1	23	94.17
image 2	31	100.00
image 3	38	100.0
image 4	38	80.83

合, 大きな認識率の低下が見られた。これは, 照合に使用する特徴量の数が増加したためであると考えられる。つまり, 常識的に考えて, 照合に用いる画素数が少ないよりは多いほうが信頼性の高い結果が得られるであろうという予想によるものである。しかし, 「交点画素数が最大となる半径の場合に認識率が最高となる」ことを保証するものではない。今回実験を行った, 定数半径, テンプレート画像の半径, 交点画素数から決定した半径の中では, 交点画素数が最大となるように自動設定した半径のとき, もっとも良好な結果が得られたということである。以上の結果より, テンプレート登録半径は, 提案手法で用いた, 交点画素の総数が最大となる値が適切であると考えられる。

7. まとめ

エッジ画素のエッジ方向と, 一定距離に存在する他のエッジ画素への方向からなる方向差の類似度に基づいて, 2次元的な位置および傾きについて姿勢自由度を持つ部分画像を探索する手法を提案した。実験結果から, 提案手法が, 任意に回転した部分画像の位置と傾きを安定して探索できることを示した。また, テンプレート登録半径のサイズについて評価したところ, 交点画素の総数が最大となるサイズに設定した場合に, 高い信頼性を得られることがわかった。提案手法は, 照合に要する計算コストが低いといえるが, 実利用化を考えた場合, 特に, エッジ画素が多い場合には, 更なる処理時間の短縮が必要である。

テンプレート登録時に有効性の高いデータのみを登録し, 照合回数を削減する処理, 一致率が低い場合には累積を行わない処理, 照合を行う条件の見直し等によって, 更なる探索性能の向上と高速化を達成することが今後の課題である。

(平成 17 年 4 月 28 日受付, 平成 17 年 12 月 20 日再受付)

文 献

- (1) 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, Vol.141, pp.141-152 (1991)
- (2) D.I.Barnea and H.F.Silverman: "A class of algorithms for fast digital image registration", *IEEE Trans. Comput.*, Vol.C-21, No.2, pp.179-186 (1972)
- (3) J.K.Agarwal, L.S.Davis, and W.N.Martin: "Correspondence process in dynamic scene analysis", *Proc. IEEE*, Vol.69, No.5, pp.562-572 (1981)
- (4) W.M.Silver: "Normalized correlation search in alignment, gauging, and inspection", *SPIE*, Vol.755, pp23-24 (1987)
- (5) J. P. Secilla and N. Garcia: "Template location in noisy pictures", *Signal Process.*, Vol.14, pp347-361 (1988)
- (6) D.H.Ballard: "Generalizing The Hough Transform to Detect Arbitrary Shapes", *Pattern Recognition*, Vol.13, No.2, pp.111-122 (1981)
- (7) H. Murase and V.V.Vinod: "Fast Visual Search Using Focussed Color Matching -Active Search-", *IEICE Trans.*, Vol.J81-D-II, No.9, pp.2035-2042 (1998-9) (in Japanese)
- (8) 村瀬 洋・V.V.Vinod:「局所色情報を用いた高速物体探索—アクティブ探索法—」, 信学論 (D-II), **J-81-D-II**, 9, pp.2035-2042 (1998-9)
- (9) M.J.Swain and D.H.Ballard: "Color Indexing", *IJCV*, Vol.7, No.1, pp.11-32 (1991)
- (10) I.E.Abdou and W.K.Pratt: "Quantitative Design and Evaluation of Enhancement/Thresholding Edge Detectors", *Proc. of the IEEE*, Vol.67, No.5, pp.753-763 (1979)
- (11) L.Kitchen and A.Rosenfeld: "Edge Evaluation Using Local Edge Coherence", *IEEE Trans. on SMC*, Vol.11, No.9, pp.597-605 (1981)
- (12) N.Otsu: "A Threshold selection Method from Gray-level Histograms", *IEEE Trans. SMC*, Vol.9, No.1, pp.62-66 (1979)
- (13) A.Rosenfeld and M.Thurston: "Edge and Curve Detection for Visual Scene Analysis", *IEEE Trans. Comput.*, Vol.20, No.5, pp.562-569 (1971)
- (14) H.Hayashi and F.Saitoh: "Rotation Invariant Image Matching Using Geometrical Edge Histogram Space", *IEEJ Trans. EIS*, Vol.126-C, No.2, pp.203-209 (2006-2)
- (15) 林 宏樹・斉藤文彦:「幾何エッジヒストグラム空間を用いた回転対応画像照合」, 電学論 C, **126**, 2, pp.203-209 (2006-2)

林 宏 樹

(非会員) 2005 年 3 月岐阜大学大学院工学研究科応用情報学専攻卒業。同年, 岐阜大学大学院工学研究科電子情報システム工学専攻入学。画像照合手法の研究に従事。

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。マシビジョン, 視覚情報処理の研究に従事。博士 (情報科学, 工学)。1998 年精密工学会優秀論文小田原賞受賞。電子情報通信学会, 画像電子学会, 日本視覚学会, 情報処理学会等会員。