メディアン濃度画素位置に基づくテンプレート画像照合

正員 齊藤文彦 (岐阜大学)

Image template matching based on position of pixel with median gray-level

Fumihiko Saitoh (Gifu University)

Image template matching is applied to various fields such as the industrial image applications. This paper proposes a new method for image template matching that is based on the position of the pixel with the median gray-level in a local image area. The position of the pixel that has the just intermediate gray-level in the order of all gray-levels of pixels in a local image area is used for the matching. The matching is performed between the templates that have the positioning addresses of the pixels with the median gray-levels and an objective gray-scaled image. The experimental results show that the sharp peaks of the best solutions and the less noises around the peaks were obtained by the proposed method in comparison with the conventional methods. The processing time for the matching was 40% shorter than the normalized correlation matching.

キーワード： 画像テンプレート照合，メディアン濃度，濃淡画像

Keywords: image template matching, median gray-level, gray-scaled image

1. はじめに

対象画像内から、事前に登録された2次元のテンプレート画像と類似した部分画像領域を探し出すテンプレート照合は、工業用画像処理を代表とする広い分野で用いられている⁽¹⁾。特に、正規化相関演算によるテンプレート照合は、最も一般的な手法として知られており、画像の濃度変化の影響を受けにくいという優れた性質を持つため、電子部品の製造工程などに適用されている^{(2),(3)}。しかし、正規化相関演算の計算コストが大きく、高速化のためには、画像情報を削減するアルゴリズムや^{(4),(5)}、専用のハードウェアの開発が必要となる⁽⁶⁾。また、探索すべき部分画像領域の一部が障害物によって隠蔽されている場合、正規化相関による照合は、耐久性が低いことが指摘されている^{(7),(8)}。実利用を目的とした画像のテンプレート照合では、比較的良好な画像の照合時だけでなく、濃度変化や一部隠蔽などの画像劣化の要因に対しても十分な頑強性を持ち、しかも照合処理に必要な計算コストが小さな手法が求められる。

本論文では、画像の局所領域内において中間濃度を持つ画素、すなわち、メディアン濃度画素の位置に基づくテンプレート画像照合手法を提案する。画像に濃度変化が生じても、局所領域内におけるメディアン濃度画素の位置は影響を受けにくいので、正規化相関による照合と同様、頑強なマッチング性能が期待できる。以下に、2章では、従来のテンプレート照合手法の特徴と問題点について、3章では、今回提案するメディアン濃度画素に基づく画像照合手法について、4章では、実験による提案手法の有効性と従来手法との比較について述べる。

2. テンプレート画像照合手法

テンプレート照合手法としては、前述の正規化相関による手法（NCM: Normalized Correlation Matching）が最も一般的である。他には、画素間の絶対濃度差の総和⁽²⁾、濃度差の2乗和⁽⁹⁾、濃度相関⁽¹⁰⁾、位相差⁽¹¹⁾、差分画像における符号変化画素数⁽¹²⁾、エッジ画素⁽¹³⁾などに基づく照合手法が提案されている。しかし、これらの手法は、画像の濃度変化の影響を比較的受けやすいため、工業用画像処理のように、高い信頼性が求められる場合は、適用しにくいという問題がある。一方、画像の局所領域内に含まれる画素間の濃度順位に基づく照合手法（GRM: Gray-level Rank Matching）⁽¹⁴⁾が提案されている。画像の濃度が均一に変化しても、局所的な画素間の相対的な濃度順位は影響を受けにくいので、GRMは、照明の劣化等による濃度変動に強い手法と考えられる。また、隣り合った画素間における濃度の増減符号に基づく照合手法（ISC: Incremental Sign Matching）^{(7),(8)}が提案されており、画像の濃度変化だけでなく、探索すべき部分画像領域の一部隠蔽に対しても頑強な手法と言われている。

工業用画像処理では、対象となる部品や製品に適した照明装置や光学系を用い、しかも外光の影響を極力排除することが可能であるので、環境の変化によって、画像の濃度が大きく変動するような場合は、さほど発生しないと考えられる。また、部品や製品間のばらつきによって、対象物そのものの濃度が変化する場合があるが、一般的に、その変動幅が極端に大きなものではない。しかし、照明の劣化や、部品間の僅かなばらつきや経年変化、また、汚れや塵による対象物の一部隠蔽などを考えると、環境変化に対し

図1 対象画像領域の一部隠蔽
Fig.1 Partial occlusion in the target image area

て誤認が発生しにくく、信頼性が高いテンプレート照合手法が求められる。また、工業用画像処理では、パソコンを処理系とする安価で簡易な画像処理システムが用いられることも多いため、照合処理に要する計算コストが少ないことも要求される。

3. メディアン濃度画素による画像照合

3.1 メディアン濃度画素の特徴

画像の局所領域内に含まれる全画素を濃度順に並べて、ちょうど中間濃度を持つ画素をメディアン濃度画素と呼ぶことにする。例えば、局所領域を 3×3 画素内とすると、この領域内に含まれる全 9 画素の中で、5 番目の濃度値を持つ画素がメディアン濃度画素となる。照明の劣化やレンズの絞り調整などによって、画像全体の濃度が変化しても、局所領域内における各画素間の相対的な濃度の大小関係はさほど変化しないと考えられる。従って、 3×3 画素領域の中心に位置する画素に対するメディアン濃度画素の相対的な位置は、画像の濃度変化に対して、比較的安定していることが期待される。

メディアン濃度画素による画像照合では、テンプレート画像内の各画素は、濃度値ではなく、 3×3 画素領域内の中心に位置する画素に対するメディアン濃度画素の位置情報を持つものとする。以後、このようなテンプレート画像をメディアンテンプレートと呼ぶことにする。また、濃度を各画素の値とする通常のテンプレート画像を濃度テンプレートと呼ぶことにする。

次に、図 1 に示すように、探索すべき部分画像領域の一部が、障害物によって隠蔽されている場合を考える。非隠蔽領域 A では、 3×3 画素領域内における相対的な濃度関係は、濃度テンプレートとほぼ同じと考えられるので、メディアン濃度画素の位置は、メディアンテンプレートとほぼ一致することが期待される。特に、非隠蔽領域 A がテンプレート画像と同一であれば、全画素についてメディアン濃度画素の位置は一致し、この非隠蔽領域 A では、両者のマッチング率は 1 となる。一方、隠蔽領域 B では、メディアン濃度画素の位置は、メディアンテンプレートとは異なる可能性が高くなる。局所領域が 3×3 画素内の場合、メディアン濃度画素の位置は 9 種類の可能性があるので、対象画像とテンプレート画像が無相関であれば、両者のメディアン濃度画素の位置が偶然一致する確率は $1/9$ となる。つまり、

(-1,-1)	(0,-1)	(1,-1)
(-1,0)	(0,0)	(1,0)
(-1,1)	(0,1)	(1,1)

図2 メディアン濃度画素の位置座標
Fig.2 Positioning address of a pixel with median gray-level

図3 メディアン濃度画素の位置座標の例
Fig.3 Examples of positioning address of a pixel with median gray-level

両者が無相関であれば、マッチング率は $1/9$ に近い値になると考えられる。従って、隠蔽領域 B の隠蔽率を $O_c\%$ とすると、非隠蔽領域 A におけるマッチング率が 1 の場合、図 1 に示した部分画像領域全体のマッチング率 C は、

$$C = 1 \times \frac{100 - O_c}{100} + \frac{1}{9} \times \frac{O_c}{100} = 1 - \frac{8}{900} O_c \geq \frac{1}{9} \quad (1)$$

となり、 $1/9$ 以上の値となる可能性が高くなる。つまり、メディアン濃度画素の位置によるテンプレート照合は、探索すべき部分画像領域内の一部の画素だけでも一致度が高ければ、全画素が無相関な他の画像領域におけるマッチング率の期待値 $1/9$ と比較して、相対的に高いマッチング率が得られるので、増分符号相関法 (ISC)^{(7),(8)} と同様、隠蔽に対して優れた頑強性が得られると考えられる。

次に、対象画像が傾いている場合は、 3×3 画素領域内の各画素の濃度に大きな変動を生じない程度の軽微な傾きであれば、メディアン濃度画素の位置は比較的安定していると考えられる。同様に、対象画像に焦点ぼけが生じている場合も、周辺画素のまわり込みによる濃度変化の影響が軽微な範囲であれば、 3×3 画素間の相対的な濃度はさほど変化しないと考えられる。

3.2 メディアン濃度画素位置に基づく画像照合

次に、メディアン濃度画素の位置に基づく画像照合手法について、具体的に説明する。以下、この提案手法を MPM (Median Pixel positioning Matching) と呼ぶことにする。

まず、テンプレートの登録過程では、探索すべき濃度テンプレートから、メディアンテンプレートを生成する。図 2

図4 実験用画像の例
Fig.4 Examples of experimental images

に示すように、濃度テンプレート内の各画素を中心とする 3×3 近傍画素内におけるメディアン濃度画素を求め、中心に位置する画素に対するこのメディアン濃度画素の相対的な座標をメディアンテンプレートに格納する。メディアン濃度画素の位置は、 3×3 画素内のいずれかであるので、 x 位置と y 位置のペアについて、 $(-1,-1)$, $(-1,0)$, $(-1,1)$, $(0,-1)$, $(0,0)$, $(0,1)$, $(1,-1)$, $(1,0)$, $(1,1)$ の計 9 種類の座標のうち、いずれかがメディアンテンプレートに格納される。例えば、図 3(a) のように、 3×3 画素内の中心画素に対して、メディアン濃度画素が斜め右上に位置する画素であれば、この中心画素に対応するメディアンテンプレート内の画素には、 $(1,-1)$ が格納される。また、図 3(b) に示すように、メディアン濃度画素が 3×3 画素内の中心画素に対して下側に位置する画素であれば、この画素に対応するメディアンテンプレート内の画素には、 $(0,1)$ が格納される。従って、MPM では、 3×3 画素内の中心画素に対するメディアン濃度画素の x 座標と y 座標の各々を表す 2 種類のメディアンテンプレートを用いる。以上の処理によって、メディアンテンプレート内の各画素に、メディアン濃度画素の位置座標を格納する。

なお、メディアン濃度画素の位置を 9 種類の整数を用いて表すことによって、メディアンテンプレートを 1 種類とすることも可能である。但し、この場合、 x および y 座標による 2 次元的な画素位置を 9 種類の整数に変換する処理が必要となる。実験の結果、この 2 次元座標から整数への変換処理を必要とする 1 種類のテンプレートによるマッチングよりも、 x および y 座標の 2 種類のテンプレートによるマッチングの方が 4% 程度高速であった。また、将来的に、メディアン濃度画素の 2 次元的な位置ずれ量に応じて、マッチング率を求めることも考慮して、ここでは、 x と y 座標を個別に表すテンプレートを用いることにした。

次に、照合過程では、対象画像に対して、上記に述べたメディアンテンプレートの生成と同様な処理を行う。すなわち、対象画像内の各画素を中心画素とする 3×3 近傍画素内において、中心画素に対するメディアン濃度画素の相対的な x と y の位置座標を求める。そして、各画素について得られたメディアン濃度画素の位置座標を用いて、メディアンテンプレートとマッチングを行う。

3.3 マッチング率の算出

次に、対象画像とメディアンテンプレートとのマッチン

グ率を求める。対象画像内の各画素について、その画素を中心とする 3×3 画素内におけるメディアン濃度画素の x および y の位置座標と、メディアンテンプレートに格納されている x および y 座標が一致しているか否かを評価する。 x および y 座標の双方が一致している画素数を n_m 、それ以外の画素数を n_u とすると、両者のマッチング率 C は、次式によって求める。

$$C = \frac{n_m}{n_m + n_u} \quad (2)$$

但し、テンプレート画像のサイズを $N \times M$ 画素とすると、

$$n_m + n_u = N \cdot M \quad (3)$$

である。対象画像内の各画素の位置について、上式によってメディアンテンプレートとのマッチング率を求め、最大マッチング率が得られた画素を探索すべき部分画像領域の位置とする。

4. 実験と結果

以上に述べたメディアン濃度画素の位置に基づくテンプレート照合手法に関する実験結果について述べる。

4.1 実験条件

実験に用いた対象画像の例を図 4 に示す。対象画像のサイズは 256×240 画素であり、各画像内で矩形に囲まれた部分画像領域が、正しく発見されたテンプレート画像である。テンプレート照合が電子部品などの製造工程を代表とする工業分野でよく用いられることから、画像(a)device は、プリント基板上の半導体モジュールのコーナー部分、画像(b)caps は、半導体周辺に実装されているチップ部品をテンプレート画像とした。また、画像(c)tree と画像(d)ellipses は、自然画とした。なお、対象画像内にテンプレート画像と類似した複数の部分画像領域が含まれる場合の照合性能を評価するために、(b)caps と (d)ellipses は、誤認の要因となる類似パターンが存在するものを用いた。テンプレート画像のサイズは、(a)device が 32×32 画素、(b)caps が 40×30 画素、(c)tree が 56×56 画素、(d)ellipses が 90×90 画素である。

4.2 テンプレート照合結果

カメラに対して、対象物体を平行移動させて撮影した画像内から、テンプレート画像と最も類似する部分画像領域を探索する実験を行った。図 5 は、各々の画像について、

図5 マッチング率の分布
Fig.5 Distributions of matching rates

表1 最適解と第2候補解とのSN比 (dB)
Table1 SN ratios between the best solutions and the second solutions (dB)

image \ method	NCM	ISC	GRM	MPM
(a)device	7.14	8.09	7.94	12.43
(b)caps	0.85	5.63	3.84	11.25
(c)tree	5.34	10.70	7.40	14.64
(d)ellipses	0.85	9.35	14.76	19.00

提案手法 (MPM) によって正しく発見された部分画像領域の位置付近におけるマッチング率の分布例を示している。代表的な従来のテンプレート照合手法として、2章で述べた正規化相関 (NCM)、増分符号相関 (ISC)、および3×3近傍画素内の濃度順位相関 (GRM) によるマッチング実験を行い、これらの手法によるマッチング率の分布も示している。まず、NCMは、正しく最適解のピークは得られているが、ピーク形状が緩やかであり、周辺の広い範囲に高いマッチング率が分布している。ISCは、明瞭なピークが得られているが、周辺部分に比較的大きなノイズが発生している。また、画像によっては、周期性のノイズも見られる。GRMは、明瞭かつ鋭いピークが得られているが、画像によっては、ピークの裾野が広がり、また、周辺部分が平坦ではなく、一部に傾斜面が見られる。これらの手法と比較して、MPMは、画像によらず、極めて鋭く安定なピークが得られており、しかも周辺のノイズも少ないことがわかる。

次に、マッチングの信頼性を評価するために、各々の対象物体について、カメラに対する位置を平行移動させて撮影した20枚の画像を用い、各手法によってテンプレート照合を行った。表1は、20枚の対象画像について、発見され

た正しい部分画像領域の位置、すなわち、最適解におけるマッチング率 C_b と、第2候補解におけるマッチング率 C_s とのSN比を次式によって求めた結果の平均値を示す。

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{C_b}{C_s} \quad (4)$$

なお、第2候補解は、最適解の周辺±10画素の範囲外に存在する最大マッチング率とした。テンプレート照合において、誤認識とは、正しい最適解以外の位置を誤って検出してしまうことを意味する。従って、最適解と第2候補解におけるマッチング率の差異が大きいほど、すなわち、上式によるSN比の値が高いほど、マッチングの信頼性に関するマージンが高く、誤認が発生しにくい照合結果が得られていると考えられる。表1が示すように、すべての画像について、MPMが最も高いSN比を記録している。従って、MPMは、マッチングの信頼性に関するマージンが高い結果が得られていると言える。なお、NCMは、(b)capsと(d)ellipsesに関して、SN比が極めて低いことから、類似パターンが含まれる画像では、誤認が発生しやすいと考えられる。

次に、マッチング率の分散傾向を定量的に評価するために、最適解の座標 (x_c, y_c) の周辺領域におけるマッチング率の分散状態 V を次式によって求めた⁽¹⁵⁾。

$$V = \frac{\sum_{x \in R} \sum_{y \in R} \sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2} \cdot C_{x,y}}{\sum_{x \in R} \sum_{y \in R} C_{x,y}} \quad (5)$$

R は最適解の周辺領域範囲を意味し、ここでは、±10画素内とした。また、 $C_{x,y}$ は、座標 (x,y) におけるマッチング率を

表 2 マッチング率の分散
Table2 Distributions of matching rates

image	method	NCM	ISC	GRM	MPM
(a)device		1.60	1.40	1.33	1.10
(b)caps		1.95	1.45	1.84	1.07
(c)tree		2.01	1.15	1.84	0.98
(d)ellipses		2.30	1.44	1.05	0.84

図 6 劣化画像の例
Fig.6 Examples of inferior experimental images

表す。各々の対象物体をカメラに対して平行移動させて撮影した 20 枚の画像を用い、最適解周辺におけるマッチング率の平均分散値を求めた結果を表 2 に示す。NCM は、図 5 にも示したように、最適解周辺におけるマッチング率の分散が最も大きい。他の手法は、いずれもマッチング率の分散は比較的小さいが、すべての画像について、MPM における分散が最小になっている。これらの結果からも、MPM は、マッチング率に関して、最適解の鋭いピークが得られ、かつ周辺のノイズレベルも小さいことがわかる。

4. 3 劣化画像における照合結果

4. 2 節における照合実験では、比較的良好な対象画像を用いたが、実利用化を想定した場合、各種の劣化画像に対して、マッチングに関する十分な耐久性を持つことが重要となる。そこで、濃度変化(brightness change)、一部隠蔽(occlusion)、傾斜(inclination)、焦点ぼけ(off-focus)の各々の要因を受けた対象画像について、照合実験を行った。具体的には、濃度変化については、レンズの絞りを 20%程度狭め、一部隠蔽については、目的とする部分画像領域が 50%程度隠れるようにアルミ板で遮蔽した。また、傾斜については、対象物をカメラの光軸を中心に 2° 程度回転させ、焦点ぼけについては、焦点距離 16mm のレンズ(竹中システム製 BL-1614S)を用い、レンズから 35cm の距離に合焦させた状

表 3 劣化画像に関する SN 比(dB)
Table3 SN ratios about inferior images (dB)

image	inferior factor	method			
		NCM	ISC	GRM	MPM
(a)device	brightness change	6.97	5.79	6.04	5.80
	occlusion	0	2.57	0.56	2.68
	inclination	6.95	5.74	4.95	6.05
	off-focus	6.68	5.36	5.65	5.37
(b)caps	brightness change	0.74	3.15	1.85	8.06
	occlusion	0	0.94	1.09	1.54
	inclination	0.61	4.03	1.89	5.82
	off-focus	0.37	3.45	1.01	3.61
(c)tree	brightness change	4.58	6.22	0.55	6.19
	occlusion	0	4.49	0.03	4.67
	inclination	4.72	4.93	1.11	3.84
	off-focus	5.16	8.32	4.65	8.27
(d)ellipses	brightness change	0.66	7.06	5.51	7.49
	occlusion	0	2.88	1.17	4.45
	inclination	0.57	4.29	3.49	5.25
	off-focus	0.47	3.96	2.99	3.92

態で、50cm の距離に置かれた対象物を撮影した。図 6 は、実験に用いた画像の例を示す。

各々の手法によるマッチング結果について、4. 2 節と同様、最適解と第 2 候補解との SN 比を求めた結果を表 3 に示す。なお、NCM は、一部隠蔽に対して弱く、すべての画像について照合に失敗したが、この場合の SN 比は 0 と表示している。また、各々の画像と劣化要因について、全手法の中で SN 比が最大となった手法の数値を太字で示している。いずれの手法も、表 1 に示した結果と比較すると、劣化要因によって SN 比が低下する傾向が見られるが、MPM は、他の手法とほぼ同等の SN 比を記録している。従って、MPM は、従来手法と比較して、上記の劣化要因に対して、同等程度の頑強性を持つと考えられる。なお、実際の生産工程を想定した場合、照明系、光学系、機構系および対象製品が比較的安定していると考えられることから、上記の実験では、対象画像が著しく劣化するほどの要因は与えていない。しかし、劣化の程度が著しい場合や、同時に複数の劣化要因が発生するような悪条件下では、従来手法が頑強性の点で優れている可能性もあり、更に検討が必要である。また、メディアン濃度画素の位置は、ノイズが局所領域内に混在した場合は変化しやすいので、提案手法は多くの加法性ノイズが含まれるような画像には不向きであると言える。今回は、3. 3 節で述べたように、メディアン濃度画素の位置が完全に一致していることをマッチングの条件としたが、より頑強な照合を実現するために、メディアン濃度画素の位置ずれの程度に応じてマッチング率を求める手法等について検討することが今後の課題である。

4. 4 照合時間

次に、照合に要する処理時間を評価した。すべての画像に関する平均照合時間の比較を表 4 に示す。処理系には、Pentium III(1GHz)を用いた。ISC は、隣接する 2 画素間だけの濃度変化符号に基づいてマッチング率を求めるため、最も高速である。一方、NCM は、全手法の中で、最も処理時

表 4 照合時間 (秒)
Table4 Processing time for matching (sec)

NCM	ISC	GRM	MPM
3.84	1.84	2.21	2.25

間を要している。GRM と MPM は、ほぼ同程度の処理時間であるが、いずれも 3×3 画素間の濃度順位を評価する必要があるため、ISC よりも 20% 程度計算コストを要している。しかし、NCM と比較すると、双方の手法とも 40% 程度高速である。以上の結果から、MPM は、照合に要する処理時間に関しても、従来手法と比較して、同程度の性能を持つと言える。

5. ま と め

画像の局所領域内におけるメディアン濃度画素の位置座標に基づいて、テンプレート照合を行う手法を提案した。実験の結果、提案手法は、一般的に用いられている正規化相関、従来の増分符号相関、濃度順位相関に基づく各テンプレート照合手法と比較して、画像劣化の要因が小さな場合は、マッチングの信頼性および最適解周辺におけるマッチング率の分散状態に関して、いずれも良好な結果が得られた。また、画像劣化時に関しても、従来手法と比較して、同等以上の頑強性が得られた。照合に要する処理時間に関しては、増分符号相関法よりは劣るものの、正規化相関と比較して、40% 程度高速であった。提案手法は、局所領域内におけるメディアン濃度画素の位置座標という、マッチングの条件として、単純な情報を用いているにもかかわらず、優れた頑強性を持つことが特長である。従って、幅広い種類の画像照合に適用可能と考えられる。今後は、メディアン濃度画素の位置を求める処理の高速化について検討する予定である。

(平成 13 年 7 月 23 日受付, 平成 13 年 10 月 5 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 F A 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, pp.179-186 (1972).
- (3) W.M.Silver: “Normalized correlation search in alignment, gauging, and inspection”, SPIE, Vol.755, pp.23-34 (1987).
- (4) S.L.Tanimoto: “Template matching in pyramids”, Comput. Graphics and Image Processing, Vol.16, pp.356-369 (1981).
- (5) A.Goshtasby, S.H.Gage, and J.F.Bartholic: “A two-stage cross correlation approach to template matching”, IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., Vol.PAMI-6, No.3, pp.374-378 (1984).
- (6) 村松彰二, 小林芳樹, 高橋一哉, 清水英志: “テンプレートマッチングにおけるハードウェア化と高速化手法の開発”, 電子情報通信学会論文誌 (D-II), Vol.J83-D-II, No.7, pp.1667-1675 (2000).

- (7) 村瀬一朗, 金子俊一, 五十嵐悟: “増分符号相関によるロバスト画像照合”, 電子情報通信学会論文誌 (D-II), Vol.J83-D-II, No.5, pp.1323-1331 (2000).
- (8) 村瀬一朗, 金子俊一, 五十嵐悟: “増分符号相関による画像照合”, 精密工学会誌, Vol.66, No.2, pp.261-265 (2000).
- (9) 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).
- (10) M.Ehlers: “The effects of image noise on digital correlation probability”, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.51, No.3, pp.357-365 (1985).
- (11) S.Alliney and C.Morandi: “Digital image registration using projections”, IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., Vol.PAMI-8, No.2, pp.222-233 (1986).
- (12) A.Venot, J.F.Lebrucque and J.C.Roucarol: “A new class of similarity measures for robust image registration”, Comput. Vision, Graphics & Image Process, Vol.28, No.2, pp.176-184 (1984).
- (13) T.C.Henderson, E.T.Triendl, and R.Winter: “Edge-and-shape-based geometrical registration”, IEEE Trans. Geosc. & Remote Sensing, Vol.GE-23, No.3, pp.334-342 (1985).
- (14) D.N.Bhat and S.K.Nayar: “Ordinal measures for image correspondence”, IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., Vol.PAMI-20, No.4, pp.415-423 (1998).
- (15) 齊藤文彦: “サイズ可変方向依存型フィルタによる Hough 変換の投票高精度化” 電気学会論文誌 C, Vol.121-C, No.6, pp.1088-1095 (2000).

齊藤 文彦

(正員) 1981 年慶大・工・数理卒。同年日本 IBM 入社。1995 年日立製作所入社。1998 年岩手県立大学助教授。1999 年岐阜大学工学部応用情報学科助教授。マシンビジョン、視覚情報処理の研究に従事。博士 (情報科学, 工学)。1998 年精密工学会小田原優秀論文賞受賞。電子情報通信学会, 画像電子学会, 精密工学会, 情報処理学会, 日本視覚学会, 日本機械学会等会員。