GAによって抽出された部分テンプレートを用いた高速画像照合

正員 斉藤文彦 (岐阜大学)

High-speed image matching using partial template extracted by genetic algorithm

Fumihiko Saitoh (Gifu University)

The normalized correlation matching is often applied to image processing for alignment, measurement and inspection of electrical components in the manufacturing lines. In the normalized correlation matching, a template image is set by the manual operation before the matching process. Namely, the contents and the size of a template image are determined by the human sense. This paper proposes a method to perform a high-speed normalized correlation matching by extracting a partial template area automatically that is effective in the image matching. A partial template area is extracted in order to keep the reliability of the matching using the genetic algorithm. The experimental results show that the partial template area including an image pattern that was useful for the matching was extracted by the proposed method and the processing time for image matching was reduced to 8.9%.

キーワード: テンプレートマッチング, 正規化相関, 領域抽出, 遺伝的アルゴリズム

Keywords: template matching, normalized correlation, area extraction, genetic algorithm

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頼っていた多くの生産工程が自動化されつつある。画像処理技術が今日のように広く展開された背景として、高性能な画像処理システムの開発とともに、正規化相関マッチングの普及が挙げられる。正規化相関マッチングは、特に工業分野における電子部品等の位置決め、計測、検査に広く利用されている^{(1)~(3)}。正規化相関マッチングが実用化されている要因としては、処理アルゴリズムが単純であるにもかかわらず、汎用性が高いことと、生産現場における利便性が高いことが挙げられる。つまり、事前に登録されている2次元のテンプレート画像を対象画像内から探索するという、直感的に理解しやすい処理であり、多くの場合、テンプレート画像の設定と探索範囲の設定程度の操作で画像処理の目的を達成することができる。これは画像処理に関する知識や経験を持たない生産現場の操作員でも処理内容を設定できることを意味しており、これが正規化相関マッチングの大きな利点と考えられる。

一方で、正規化相関マッチングは、テンプレート画像と対象画像間で画素単位の照合を行うため、多くの計算コストを必要とする^{(4),(5)}。従って、高速化のためには、アルゴリズムをハードウェア化した専用画像処理システムが必要となる。一方、正規化相関マッチングをソフトウェアによって実行する場合は、照合画素の間引きや画像の低解像度化など、マッチングの信頼性とトレードオフとなる高速化手法の導入が必要となる。

画像マッチングの目的は、登録されているテンプレート画像と類似した部分画像を対象画像内から高速にしかも誤

認識なく発見することである。ここで、テンプレート画像は、一般的に人手によって設定される。例えば、製造現場の操作員や画像処理システムの開発者によって、テンプレート画像となる領域がサンプル画像内である矩形として設定される。この場合、テンプレート画像の内容およびサイズは、人間の主観によって決定されることになる。常識的には、テンプレート画像のサイズが大きいほど、照合に用いられる情報量が増加するため、マッチングの信頼性が向上するような印象を受ける。しかし、テンプレート画像のサイズが大きな場合、本来の画像照合に有効ではない不要な情報が混入する可能性も発生し、更にマッチングのための計算コストも増大することになる。信頼性の高いマッチングを実現し、しかも計算コストを削減するためには、マッチングに適したテンプレート画像を設定することが重要となる。

本論文では、従来のように人間が主観的に設定したテンプレート画像に対して、マッチングに有効な部分的なテンプレート領域を再度自動設定することによって、より高速なマッチングを実現する手法を提案する。また、マッチングの信頼性を保持するために、遺伝的アルゴリズム (GA: Genetic Algorithm)^{(6)~(9)}を用い、マッチングに適した画像特徴を含む部分領域をテンプレートとして抽出する。

2. 正規化相関画像マッチング

正規化相関マッチングでは、サイズが $N \times M$ 画素のテンプレート画像を T 、探索対象画像を I とすると、探索対象画像内の画素 (v, u) における両者のマッチング率 $R(v, u)$ は、次式によって求められる。

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

但し,

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

である。テンプレート画像を探索対象画像内で1画素単位に移動させ、最大マッチング率が得られた画素位置 (v_{max}, u_{max}) から、探索すべき部分画像を発見する^{(10)~(12)}。

正規化相関マッチングは、画像の濃度に対して正規化が行われるため、様な照明変化などの影響を受けにくい。しかし、画素単位のマッチングを画像全域について実行する必要があるため、計算コストを要することが問題となる。正規化相関マッチングの高速化手法は多く提案されており、画素を間引いてマッチング演算を削減する方法^{(13),(14)}、低解像度画像における近似的なマッチングの後に高解像度マッチングを実行する手法^{(15)~(17)}、画像のエッジ成分を利用したマッチング手法⁽¹⁸⁾、多段の前処理によってテンプレート画像を変換させる手法⁽¹⁹⁾、マッチング率の変化状態に応じてマッチングを途中で打ち切る手法⁽²⁰⁾等が提案されている。これらの手法では、与えられたテンプレート画像領域全体を用いてマッチング処理を行うことを前提としている。

3. テンプレート画像の設定

正規化相関マッチングを高速化するためには、マッチングに用いられる画像情報量を削減することが基本的な戦略となる。画素の間引きや画像の低解像度化は、マッチングの対象となる画像情報の削減を実現するが、これらは一方でマッチングの信頼性とトレードオフの関係にある。また、従来手法は、設定されたテンプレート画像の領域サイズ、およびテンプレート内の画像情報を考慮することなく、そのテンプレート画像全体を用いてマッチングを行っている。つまり、そのテンプレート画像の領域がマッチングに適しているか否かはマッチングの段階では考慮されていない。これは、マッチングアルゴリズムに意識が働くため、人手によって設定されたテンプレート画像は、与えられた情報としてマッチング処理に直接的に用いるという常識的な考え方が基本にあるためと思われる。

ところで、人間によって設定されたテンプレート画像が必ずしもそのマッチングの目的に適している保証はない。マッチングの信頼性を高める意味では、探索対象画像内に、目的とする部分画像に類似した他の部分画像ができるだけ存在しないようなテンプレート画像が望ましい。また、高速化のためには、一般的にサイズの小さなテンプレート画像の方が有利である。従って、人手によって設定されたテンプレート画像内から、マッチングに適した部分領域を探索対象画像に応じて抽出することによって、より効率的な

(a) コネクタ接合部全体

(b) コネクタ接合用端子

(c) 配線パターン

図1 プリント基板画像とテンプレート領域
Fig.1 An image of print circuit board and template areas

マッチングを実現できる可能性がある。

例えば、プリント基板にコネクタを装着する生産工程の自動化を考える。この場合、プリント基板が撮影されている画像内から、コネクタ接合部を探し出す必要がある。このように電子部品などを搭載すべき部分画像領域を対象画像内から探し出す処理は、正規化相関マッチングの最も一般的な利用法である。図1(a)は、プリント基板の画像であるが、ここでは、基板上のコネクタ接合部付近を囲む矩形領域をテンプレート画像として設定している。この生産工程の目的は、プリント基板へのコネクタの装着である。従って、人手によってテンプレート画像を設定する場合、コネクタ接合部を探索したいという意識が働くため、図1(a)に示した矩形のように、コネクタ接合部付近を含む広めの領域を設定する傾向が強くなる。しかし、このテンプレート画像はサイズが大きいため、マッチングの高速化には不向きである。また、コネクタの接合用端子は横方向に等間隔に並んでいるので、端子間のピッチでマッチング率が高い部分が周期的に現れ、これらが誤認の要因となりえる。誤認の問題は、図1(b)のように高速化を目的として、一部の端子だけを含む小さなテンプレート画像を設定した場合も同様に発生する。一方、図1(c)では、接合用端子部のやや左側に位置する基板表面の配線パターンを囲む領域をテンプレート画像としている。ここで設定された領域は、探索対象画像内の他の部分に類似したパターンが存在せず、しかも領域サイズも小さいため、マッチングの信頼性保持および高速化の観点から、有効なテンプレート領域と考えられる。すなわち、図1(c)で設定された矩形領域は、プリント基板上的コネクタ接合部を直接的に表現する領域ではないが、コネクタ接合部の探索を目的とするマッチング処

図2 部分テンプレート領域
Fig.2 Partial template area

図3 染色体の表現
Fig.3 Representation of chromosome

理にとっては、より適したテンプレート領域と考えることができる。

4. GAによる部分テンプレート領域抽出

本手法では、人手によって設定されたテンプレート画像の中から、よりマッチングに適した部分領域を自動抽出し、この抽出された部分領域を新たなテンプレート画像としてマッチング処理を行う。しかし、マッチングに適した部分領域は、テンプレート画像や探索対象画像によって変化し、また、テンプレート画像内における位置およびサイズは不明であるため、その抽出は容易ではない。そこで、本手法では、大局的な解探索に有効なGAを用いて、マッチングに適した部分領域を抽出する。GAは、生物の進化過程に着想を得て、計算機内に形成した個体集団を進化させることによって、工学的課題の準最適解を求める手法である。以下に、本手法の具体的な内容について述べる。

4.1 染色体のコーディング

個体の染色体には、課題の解をコーディングする必要がある。ここでは、人手によって設定されたテンプレート画像内において、マッチングに適した部分領域を求めることが目的となる。そこで、図2に示すように、テンプレート画像の左上端を基準として、任意の部分領域を囲む矩形の位置 (x, y) と幅 w および高さ h の4種類のパラメータを染色体情報とする。各パラメータは8ビットによって表す。従って、染色体全体は、図3に示すように32ビット長のビット列によって表現される。GAにおける進化の初期世代では、各個体の染色体には、ランダムなビット列を与えるが、部分領域を囲む矩形が $N \times M$ 画素のテンプレート画像内に収まるように、 $0 \leq x < M$, $0 \leq y < N$, $1 \leq w \leq M - x$, $1 \leq h \leq N - y$ の条件を満たす範囲内で各パラメータの値を設定する。な

図4 マッチング率の分布
Fig.4 Distribution of matching rate

お、以下の説明では、テンプレート画像内で、矩形に囲まれた領域を部分テンプレート領域と呼ぶことにする。

4.2 適応度の評価

次に、各個体の適応度を求める。本手法の目的は、信頼性が高く、かつ高速な画像マッチングを実現することなので、これらの条件を満たす染色体を持つ個体に高い適応度を与える。

まず、マッチングの信頼性を評価するために、ある個体 k の染色体によって表現される部分テンプレート領域を用い、正規化相関マッチングによって対象画像内を探索する。図4は、探索におけるマッチング率の分布を1次元的に示している。対象画像内において、部分テンプレート領域と最も類似した部分画像の位置が最適解となる。この最適解におけるマッチング率 $R_1(k)$ が大きいほど、部分テンプレート領域と類似度が高い部分画像が検出されていることになるため、 $R_1(k)$ の値によってマッチングの信頼性を評価する。

次に、この最適解におけるマッチング率 $R_1(k)$ と、最適解の近傍 $\pm L_1$ 画素の外側に存在する最も高いマッチング率 $R_2(k)$ 、すなわち、第2候補解におけるマッチング率との差を求める。ここでは、 $L_1=10$ とした。画像マッチングにおける誤認とは、探索すべき部分画像以外の部分を誤って検出してしまうことである。従って、マッチングの信頼性の高さは、次式による最適解と第2候補解のマッチング率の差分 $R_d(k)$ によって評価することができる。

$$R_d(k) = R_1(k) - R_2(k) \quad (2)$$

次に、高速性に関しては、一般的にマッチングに用いる画素数が少ないほどマッチング時間は短縮されるので、部分テンプレート領域に含まれる画素数が少ないほど評価値が高いとする。すなわち、人手によって設定されたテンプレート画像のサイズを $N \times M$ 画素、個体 k の染色体によって表現される部分テンプレート領域のサイズを $h(k) \times w(k)$ 画素とした場合、次式によって求められる両者の画素数比 $P_r(k)$ が小さいほど高速なマッチングが可能とする。

$$P_r(k) = \frac{h(k) \cdot w(k)}{N \cdot M} \quad (3)$$

図5 実験用画像とテンプレート画像
Fig.5 Experimental image and template image

図6 抽出された部分テンプレート領域
Fig.6 Extracted partial template area

個体 k の適応度 $f(k)$ は、 $R_1(k)$, $R_s(k)$, $P_r(k)$ の3種類のパラメータを用いて、次式によって表すことにする。

$$f(k) = R_1(k) + \alpha R_s(k) - \beta P_r(k) \quad (4)$$

ここで、 α , β は各パラメータ間の重み係数である。

4.3 遺伝的操作

次に、GAにおける遺伝的操作方法について述べる。まず、個体の選択淘汰には、ランク方式を用いる⁽⁹⁾。これは、集団内の全個体を適応度順に並べ、上位の個体だけを次世代に存続させる方法であり、特定のエリート個体の影響を受けにくい、集団の多様性を保持した進化が可能とされている。下位の適応度を持つ個体は集団から淘汰し、淘汰した個体数だけ、上位個体間の交叉によって子供個体を新たに増殖させる。

交叉には、一般的な2点交叉を用いた。但し、子供個体の染色体が表す部分テンプレート領域がテンプレート画像内に収まらない可能性がある。このような場合は、その子供個体は致死個体として扱い、テンプレート画像内に収まる部分テンプレート領域を表す染色体を持つ子供個体が得られるまで、ランダムに上位の親個体を選択して交叉を繰り返す。

突然変異には、一般的なビット反転方式を用いた。交叉の場合と同様、突然変異の結果、その個体の染色体が表す部分テンプレート領域がテンプレート画像からはみ出す場合は、テンプレート画像内に収まる部分テンプレート領域を表す染色体が得られるまで、異なるビットに対して反転処理を行う。

以上の遺伝的操作に基づくGAを実行し、最大適応度が20世代に亘って一定値に収束した時点で進化が完了したと見なす。そして、最大適応度を持つ個体の染色体が表す部分テンプレート領域の位置とサイズを最終解とする。

図7 マッチング率の分布
Fig.7 Distributions of matching rates

5. 実験と結果

本手法を用い、人手によって設定されたテンプレート画像から部分テンプレート領域を抽出し、得られた部分テンプレート領域を用いて正規化相関マッチングを行った。

5.1 実験条件

正規化相関マッチングは、主に工業分野で適用されることから、実験には、図5(a)に示す一般的なプリント基板の画像を用いた。画像サイズは、 256×240 画素である。プリント基板の上端に配置されているコネクタ接合部を探索する。図5(b)は人手によって設定したテンプレート画像であり、コネクタ接合部全体を囲む矩形領域が設定されている。GAにおけるパラメータは、経験的に個体数は100、個体の次世代への存続率は50%、突然変異率は1%、適応度評価式の係数は $\alpha = 1.0$, $\beta = 1.0$ とした。

5.2 部分テンプレート領域の抽出結果

図6は、本手法によって、図5(b)に示したテンプレート画像から抽出された部分テンプレート領域を示す。コネクタ接合部を視覚的に特徴づける、等間隔に並ぶ端子部分を含む領域ではなく、その近辺に存在するプリント配線パターンを含む領域を抽出している。

図7(a)は、図5(b)に示し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った場合のマッチング率の2次元的な分布を示している。また、図7(b)は、図6に示した部分テンプレート領域を用いた場合のマッチング率の分布である。両者を比較すると、人手によって設定されたテンプレート画像を用いた場合は、最適解のピークの左右に最適解に準ずる複数のピークが存在している。これは、コネクタ接合部の端子が横方向に等間隔に並んでいるため、端子間のピッチでマッチング率のピークが周期的に現れるためである。一方、本手法によって抽出された部分テンプレート領域を用いた場合は、最適解以外のピークが抑制されており、テンプレートの領域サイズが小さいにもかかわらず、誤認が発生しにくいマッチング率の分布が得られている。

次に、プリント基板をカメラに対して平行移動させた20枚の画像に関してマッチングを行った。表1は、人手によって設定されたテンプレート画像を用いた場合と、部分テンプレート領域を用いた場合の各々の結果を示す。両者を

表1 マッチング率の比較
Table1 Comparison of matching rates

	テンプレート 画像	部分テンプレ ート領域
最適解における マッチング率	0.985	0.984
最適解と第2候補解の マッチング率の差	0.451	0.737
最適解周辺の マッチング率の分散	1.102	0.560

表2 テンプレートサイズおよびマッチング時間の比較
Table2 Comparison of template size and matching time

	テンプレート 画像	部分テンプレ ート領域
テンプレートサイズ (画素)	145×85	19×54
画素数	12325	1026
マッチング時間(秒)	9.18	0.82

比較すると、最適解におけるマッチング率はほぼ同程度の高い値が得られている。次に、最適解と第2候補解のマッチング率の差に関しては、部分テンプレート領域を用いた場合の方が1.6倍程度大きな値となっており、誤認が発生しにくい結果が得られていると考えられる。更に、最適解の周辺±10画素内のマッチング率の分散に関しては、部分テンプレート領域を用いた場合の方が値が小さいことから、最適解の近傍に高いマッチング率が集中しており、鋭いピークが得られていることがわかる。

次に、テンプレートのサイズと画素数、およびマッチングに要する時間を比較した結果を表2に示す。本手法によって抽出された部分テンプレート領域は、テンプレート画像と比較してサイズが小さく、画素数が8.3%に削減されている。この効果によって、マッチング時間は9.18秒から0.82秒へと8.9%に削減され、11倍以上の高速化が達成されている。

図10 世代と最大適応度との関係
Fig.10 Relation between generation and the maximum fitness

5. 3 進化過程

図8は、GAにおける進化につれて、部分テンプレート領域が変化の様子を示している。世代の進行に伴って、特徴的な画像パターンを含む領域を抽出していることがわかる。また、図9は、世代が進むにつれて、探索対象画像内における最適解周辺のマッチング率の分布が変化する様子を表している。進化に伴って、最適解以外のピークが徐々に抑えられ、かつ最適解のピークが鋭くなっていることがわかる。更に、図10は、進化に伴って集団内の最大適応度が変化する様子を表している。世代が進むにつれて最大適応度が増加し、ほぼ40世代で進化が完了している。

5. 4 複数画像を用いた部分テンプレート領域の抽出

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同一サイズでかつ正立している必要がある。もしも部分画像がテンプレート画像に対してサイズが異なる、あるいは正立していない場合は、両者の間で画素の位置ずれが発生するため、マッチング率が低下する。逆の観点から、正規化相関マッチングが工業分野で広く利用されるひとつの理由は、生産装置における位置決め

図8 部分テンプレート領域の変化
Fig.8 Change of partial template area

図9 マッチング率の分布の推移
Fig.9 Change of distribution of matching rate

図 11 実験に用いた傾斜画像
Fig.11 Experimental inclined images

図 12 傾斜画像を用いて抽出された部分テンプレート領域
Fig.12 Extracted partial template area using inclined images

の機構精度が十分に高いため、部分画像のサイズが大幅に変化したり、あるいは対象物が大きく傾く場合がほとんど発生しないからであると言える。実際に、カメラと対象物間の距離が大幅に変化する場合一般的と考えられないため、画像のサイズの変化はあまり考慮する必要はない。しかし、傾きに関しては、部品の加工精度や位置決め精度によって、カメラの光軸に対して対象物が僅かに回転角を持つ場合が発生する。このように対象画像が僅かな傾きを持っている場合であっても、マッチングへの影響が少ないことが望まれる。

そこで、探索対象画像が僅かに傾いている場合も想定して、テンプレート画像内から部分テンプレート領域を抽出する実験を行った。コネクタ接合部を含むプリント基板をカメラの光軸に対して -2° 、 -1° 、 $+1^\circ$ 、 $+2^\circ$ 回転させた各画像を撮影し、図 11 に示したこれらの画像と図 5 (a) に示した正立画像の計 5 枚の画像を用いて、本手法によって部分テンプレート領域を求めた。なお、テンプレート画像は、図 5 (b) に示したものをを用いた。また、適応度は、各画像から得られた適応度の平均値とした。

図 12 は、本手法によって得られた部分テンプレート領域を示す。図 6 に示した正立画像だけをを用いた場合とほぼ同様な画像領域を抽出している。しかし、部分テンプレート領域の形状は、正立画像だけをを用いた場合が 19×54 画素であったのに対し、 28×37 画素となり、より正方形に近づいている。テンプレートが縦長あるいは横長の長方形の場合、テンプレートの端部分では傾きによって画素位置の変

図 14 傾斜画像を用いた場合の世代と最大適応度との関係
Fig.14 Relation between generation and the maximum fitness when inclined images were used

位が大きくなる。従って、傾きの影響をできるだけ回避するために、ここでは正方形に近い領域が抽出されたと考えられる。図 13 は、世代の進行に伴って、部分テンプレート領域が変化していく様子を示す。また、図 14 は、世代数と最大適応度との関係を示す。世代が進むにつれて、特徴的な画像パターンを含む正方形に近い部分テンプレート領域を抽出し、また、正立画像だけをを用いた場合と同様、ほぼ 40 世代で進化が完了している。

次に、テンプレート画像を用いた場合と、抽出された部分テンプレート領域を用いた場合のマッチング率の分布に関する比較を表 3 に示す。これらの値は、 $\pm 2^\circ$ 以内の傾きを持つ 20 枚の画像に関してマッチングを行った結果の平均値である。部分テンプレート領域を用いた場合は、テンプレート画像を用いた場合と比較して、領域サイズが小さいにもかかわらず、最適解において高いマッチング率が得られており、また、第 2 候補解との差分も約 1.7 倍大きくなっている。これらの結果から、誤認の発生しにくいマッチン

図 13 傾斜画像を用いた場合の部分テンプレート領域の変化
Fig.13 Change of partial template area when inclined images were used

表3 傾斜画像を用いた場合のマッチング率の比較
Table3 Comparison of matching rates when inclined images were used

	テンプレート 画像	部分テンプレ ート領域
最適解における マッチング率	0.912	0.936
最適解と第2候補解の マッチング率の差	0.392	0.682
最適解周辺の マッチング率の分散	1.106	0.790

表4 傾斜画像を用いた場合のテンプレートサイズとマッチング
時間
Table 4 Template size and matching time when inclined images were used

	部分テンプレ ート領域
テンプレートサイズ (画素)	28×37
画素数	1036
マッチング時間(秒)	0.82

グが実現されていると考えられる。また、最適解周辺におけるマッチング率の分散も小さい。

表4は、部分テンプレート領域のサイズと画素数、および部分テンプレート領域を用いた場合のマッチング時間を示す。表2に示した正立画像だけを用いた場合と比較して、部分テンプレート領域内の画素数はほぼ同数であった。また、マッチング時間も正立画像の場合と同じ0.82秒であった。従って、人手によるテンプレート画像を用いた場合と比較して、マッチング時間は8.9%に短縮されている。

5. 5 部分テンプレート領域の抽出時間

以上に述べたように、抽出された部分テンプレート領域を用いることによって、マッチングの高速化が実現されている。一方、部分テンプレート領域の抽出処理に関しては、正立画像だけを用いた場合で約70分、傾きを考慮した5枚の画像を用いた場合で約6時間を要した。これは、GAにおける進化過程に、計算コストを要しているためである。しかし、部分テンプレート領域の抽出は、マッチングの前にオフラインで行われるため、処理時間を要しても大きな問題は生じないと考えられる。

6. ま と め

人間によって設定されたテンプレート画像内から、正規化相関マッチングに適した部分テンプレート領域をGAによって自動抽出し、マッチングの高速化を実現する手法を提案した。実験の結果、マッチングに有効な特徴パターンを含む画像領域が部分テンプレート領域として抽出されることがわかった。また、複数画像を用いることによって、画像の傾き変化の影響を受けにくい部分テンプレート領域が抽出されることがわかった。マッチング時間に関しては、人手によって設定されたテンプレート画像を用いた場合と比較して、約11倍の高速化が達成された。本手法では、部分テンプレート領域の抽出に計算コストを要しているが、

この処理はオフラインで行われるため、マッチング処理への影響はない。しかし、生産現場において本手法を用いる場合、計算機環境を長時間占有することは望ましくない。従って、遺伝的操作の改良やパラメータの調整によって、部分テンプレート領域の抽出を高速化することが今後の課題となる。

(平成12年10月23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, Vol.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) 松浦英文, 東原 稔, 宮治 伸, 中村吉伸: “画像処理による電子部品装着機の部品位置計測手法”, 電気学会論文誌C, Vol.115, No.2, pp.321-325 (1995).
- (5) 斉藤文彦: “部分ランダム探索と適応型探索による半導体チップ画像テンプレートマッチング”, 精密工学会誌, Vol.61, No.11, pp.1581-1585 (1995).
- (6) J.H.Holland: “Adaptation in natural and artificial systems”, The Univ. Michigan Press (1975).
- (7) D.E.Goldberg: “Genetic algorithm in search optimization and machine learning”, Addison Wesley (1989).
- (8) 北野宏明: “遺伝的アルゴリズム”, 人工知能学会誌, Vol.7, No.1, pp.26-37 (1992).
- (9) 安居院猛, 長尾智晴: “ジェネティックアルゴリズム”, 第1章, 昭晃堂 (1993).
- (10) W.M.Silver: “Normalized correlation search in alignment, gauging, and inspection”, SPIE, vol.755, pp.23-34 (1987).
- (11) 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).
- (12) 尾上守夫(編): “画像処理ハンドブック”, 昭晃堂, pp.303-304 (1987).
- (13) G.J.Vanderberg, and A. Rosenfeld: “Two-stage template matching”, IEEE Trans. Comput., Vol.C-26, No.4, pp.384-393 (1977).
- (14) 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).
- (15) A.Rosenfeld, and G.J.Vanderburg: “Coarse-fine template matching”, IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., Vol.SMC-2, pp.104-107 (1977).
- (16) R.Y.Wong, and E.L.Hall: “Sequential hierarchical scene matching”, IEEE Trans. Comput., Vol.C-27, No.4, pp.359-366 (1978).
- (17) S.L.Tanimoto: “Template matching in pyramids”, Comput.

Graphics and Image Processing, Vol.16, pp.356-369 (1981).

- (18) 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).
- (19) 村松彰二, 大塚裕史, 小林芳樹, 清水英志: "テンプレートマッチングの高速化戦略とその最適化", 電子情報通信学会技術報告, PRMU99-68 (1999).
- (20) 池田光二, 吉田昌司, 中島啓介, 浜田長晴, 依田晴夫: "正規化相関演算の単調関数化による高速テンプレートマッチング", 電子情報通信学会論文誌, Vol.J83-D- II, No.9, pp.1861-1869 (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賞受賞. 電子情報通信学会, 画像電子学会, 日本視覚学会等会員.