モデルベーストマッチング法を用いた鋳造部品の視覚位置決め

正 員 恩田 寿和 (㈱明電舎)

正 員 庭川 誠 (㈱明電舎)

非会員 藤原 伸行 (㈱明電舎)

正 員 清家 綾子 (㈱明電舎)

Object Recognition For Casting Parts Using Model Based Matching
Toshikazu Onda, Makoto Niwakawa, Nobuyuki Fujiwara and Ayako Seike (MEIDENSHA CORPORATION)

We have focused to the model based matching technique to detect and locate casting parts in the image. To accomplish this, we have explored the edge based optimized feature extraction procedure and feature based model matching technique for object recognition, so that we have realized a practical visual positioning system for castings. Our system is insensitive to changes in lightings or backgrounds in the real works. In this paper, the system, experiments and some applications are described.

キーワード：物体認識、モデルベーストマッチング法、鋳造部品、特徴抽出

1. まえがき

ファクトリーオートメーション分野においては画像処理技術の利用が盛んで、検査工程や加工組立工程への適用事例が多く報告されている[1]。画像処理は主として画像二値化による特徴量抽出と相関法によるパターンマッチングの2方法が利用されているが、いずれも工場の現場に使用する場合には計測条件に制約があり、適用分野は限定されている。例えば画像二値化による検査工程においては照明条件を一定に保つことが必要で、検査場所では外乱光を遮蔽するなどの整備が必要である。相関法を用いる場合も同様に照明に関する配慮が必要で、検査対象物の背景と回転の影響を排除する工夫が必要である。

我々の自動化のターゲットの一つに鋳造部品の加工ラインの自動化がある。例えば、鋳造工場で製造された鋳造部品をバリ取りを含む一次加工する工程において供給される部品を加工機械にセットする作業で、現状は多くの作業員の手作業で行われている。これらの現場を自動化する場合には、作業台やベルトコンベアに供給される材料部品の検出と正確な位置計測を行う必要がある。このような技術は「物体認識」と呼ばれ、1970年代から江尻[2]、石井[3]、らにより多くの研究事例が報告されている。ただし実際の工場に適用した報告としては山田らによる部品位置決め用視覚システム[4]などがあるが多くない。

機械部品など変形しない既知の部品の物体認識にはモデ

ルベース法が有用である。特にベルトコンベア上など高さ方向が既知の場所に供給される部品の位置決めは上方に設置した1台のCCDカメラを使用した二次元平面内の位置決めで対応可能である。モデルベース法は対象部品の幾何学的特徴量の情報を「モデル」として登録しておき入力画像から得られる情報とのマッチングを行って対象物の検出を行う方法である。これまでに、局所の特徴の位置関係を利用する Bolles らの提唱した Local-Feature-Focus 法[5]や、これを拡張してモデルの自動生成を考慮した Chen らの PRS matcher[6]、およびアウトライン情報を利用した西川ら[7]の研究が報告されている。

我々は計測場所の照明条件や周囲の光の影響など計測環境が整備しにくく従来の画像処理法が適用できなかった作業現場で使用できる対象物位置決めが目標である。工場内は一般に時間的な明るさの変化が存在するため、画像処理を利用する場合は、必要な箇所に遮光措置を施した上で特別な照明を使用するのが普通であるが、例えば鋳造工程などの大きな部品を扱う現場では遮光が難しく、周囲の光の変化の影響を避けられない。そこで我々は入力画像の情報として、光量の変化に影響されないエッジを使用することとし、エッジをもとに特徴抽出を行ってモデルマッチングを行い対象部品の位置決めをする方式を提案する。このような手法は Porrill らの TINA[8]などの研究報告があるが処理時間や精度などの追求はされておらず実用レベルにま

では至っていなかった。我々は特に特徴抽出処理時間短縮と必要精度の確保など実用化に向けての工夫を行い、周辺技術を整備して実用技術として完成させた。

本論文では、我々の提案する視覚位置決め方式の原理と実用化のために工夫したポイントを説明し、概略の性能を報告するとともに、この方式を適用した事例を報告する。

2. モデルベースマッチング方式

図1は提案する物体認識のプロセスをフローチャートで示したものである。システムにはオペレータの介入によるモデル作製と、シーケンス的に行われる認識の2つのプロセスが存在する。

認識対象物のモデルを作製するプロセスは、対象物のサンプルの画像をもとにしてモデルを作製しモデルのライブラリに登録するまでの処理をオペレータの介入で行うものである。オペレータが後述するパラメータを設定すると、システムがサンプルの画像を入力し、設定されたパラメータに基づくエッジ抽出と特徴抽出の処理を行う。その後モニタに表示される抽出された特徴の中からオペレータが、モデルを構成するのに必要と判断する特徴を選択することでモデルが作製される。本システムでは、こうして選択された複数の特徴の種類とそれらの相対的な位置関係を表現したデータ群とこのときのパラメータデータをあわせて「モデル」と呼び、認識時のマッチングのプロセスで使用する。

図1 モデルベース法のフローチャート

Fig. 1. Flowchart of our recognition procedure

これに対応する認識のプロセスは、カメラから画像を入力してから画像中に対象物を検出し位置を計算して出力するまでの一連の処理を自動的に行うものである。システムは認識の要求を受けると画像入力を行い、モデル作製時に設定されたパラメータでエッジ抽出と特徴抽出を行い特徴のリストを作製する。その抽出された特徴群の中からモデルの特徴と照合するものを検索して（特徴マッチング）、対象物を検出する。そしてこのときの特徴群の入力画像中の座標を検出した対象物の位置として出力するものである。

我々のアルゴリズムで特に工夫した点は、まず画像前処理としてエッジベースの特徴抽出を行うこと、次にモデルを特徴で表現してマッチングは入力画像から抽出した特徴との間で行うこと、そしてマッチングプロセスでは一定の許容範囲を設定すること、の3点である。これらは物体認識の認識の安定性、つまり計測条件の変化に対するロバスト性を確保する上で重要なポイントである。

2. 1 エッジ検出

エッジ抽出は Sobel や Canny らの提案している多くのオペレータが利用されている。我々は、ノイズに強く再現性の高いエッジが抽出できることと、DSPで高速な処理が実現できることなどから $\nabla^2 G$ フィルタ[9]を使用した。 ∇^2 はラプラス演算子であり、 G は二次元ガウス分布を表す。 $\nabla^2 G$ フィルタは(1)式で計算する。

$$\nabla^2 G(r) = \frac{-1}{\pi\sigma^4} \left(1 - \frac{r^2}{2\sigma^2} \right) \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここで r は注目する画素からの距離、 σ はガウス分布の標準偏差を示す。入力画像の全画素に対して(1)式の量み込み積分を行った結果は入力画像の二次微分画像であり、そのゼロ交差点をエッジとして検出する。この時に、二次微分の勾配が一定以上の点のみをエッジ点として検出し、さらに孤立点を除去するなどしてノイズの少ないエッジを取得する工夫をした。この方法のもう一つのメリットは一回の計算で幅が一画素の細いエッジが得られることである。このことは次の特徴抽出の過程での計算量を少なくし、再現性のよい特徴抽出に効果がある。

2. 2 特徴抽出

特徴抽出はエッジ抽出処理の結果得られるエッジ画像を基にして計算する。エッジの情報をもとに抽出できる特徴としては直線（線分）、円（円弧）、楕円、特異点（角など）、など多くの幾何学的な特徴を使うことができるが、我々の扱う工業部品の大部分が線分と円弧の組み合わせで表現できることから、我々はこれらのうちの基本要素であ

る線分と円弧を使用するものとした。これらはいずれも、エッジ検出処理の結果得られるエッジ画像中で連結しているエッジ点の集合を E_k としたときに E_k の要素データをもとに最小二乗法による近似計算を施すことにより抽出する。連結するエッジ点の集合 E_k はまずエッジ画像の1点から8近傍で隣接する点を探索して連結することにより求めた。また、ある E_k が線分にも円弧にも近似できない場合は E_k を後述する方法により2分割し、その各々について再度近似計算を行う再帰的手法を導入し、エッジ画像を線分と円弧の集合で表現する特徴抽出を行った。

線分の含まれる直線の方程式を

$$y = ax + b \quad \dots\dots\dots(2)$$

としたときに、直線とエッジ点 (x_i, y_i) との誤差 d_i は、

$$d_i = y_i - (ax_i + b) \quad \dots\dots\dots(3)$$

なので、これを最小にするためには

$$\frac{\delta}{\delta a} \sum d_i^2 = \frac{\delta}{\delta b} \sum d_i^2 = 0 \quad \dots\dots\dots(4)$$

となる a, b を求める。このとき、

$$\begin{bmatrix} \sum x_i^2 & \sum x_i y_i \\ \sum x_i y_i & \sum y_i^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum x_i y_i \\ \sum y_i^2 \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(5)$$

となるので、近似直線の a, b はこれを展開して、

$$a = \frac{N \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$b = \frac{\sum x_i^2 \sum y_i - \sum x_i \sum x_i y_i}{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad \dots\dots\dots(6)$$

で求めることができる。 E_k が線分の場合は E_k の端点を(2)式、(6)式で求めた線分上に投影した点を線分の端点として以下の処理で使用する。

円弧の場合も同様に、円の方程式を

$$ax + by + c + x^2 + y^2 = 0 \quad \dots\dots\dots(7)$$

とすると、エッジ点 (x_i, y_i) との誤差 d_i は、

$$d_i = ax_i + by_i + c + (x_i^2 + y_i^2) \quad \dots\dots\dots(8)$$

なので、これを最小にするためには

$$\frac{\delta}{\delta a} \sum d_i^2 = \frac{\delta}{\delta b} \sum d_i^2 = \frac{\delta}{\delta c} \sum d_i^2 = 0 \quad \dots\dots\dots(9)$$

であるから、

$$\begin{bmatrix} \sum x_i^2 & \sum x_i y_i & \sum x_i \\ \sum x_i y_i & \sum y_i^2 & \sum y_i \\ \sum x_i & \sum y_i & N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sum (x_i^2 + y_i^2) x_i \\ \sum (x_i^2 + y_i^2) y_i \\ \sum (x_i^2 + y_i^2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(10)$$

となり、これを展開して近似円の方程式の各項が、

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = -\frac{1}{m_{00}} \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sum (x_i^2 + y_i^2) x_i \\ \sum (x_i^2 + y_i^2) y_i \\ \sum (x_i^2 + y_i^2) \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(11)$$

で求められる。ここで、

$$m_{00} = N(\sum x_i^2)(\sum y_i^2) + 2(\sum x_i y_i)(\sum x_i)(\sum y_i) - (\sum x_i)^2(\sum y_i^2) - (\sum y_i)^2(\sum x_i^2) - N(\sum x_i y_i)^2$$

$$m_{11} = N \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2$$

$$m_{12} = \sum x_i \sum y_i - N \sum x_i y_i$$

$$m_{13} = \sum x_i y_i \sum y_i - \sum y_i^2 \sum x_i$$

$$m_{21} = \sum x_i \sum y_i - N \sum x_i y_i$$

$$m_{22} = N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2$$

$$m_{23} = \sum x_i \sum x_i y_i - \sum x_i^2 \sum y_i$$

$$m_{31} = \sum x_i y_i \sum y_i - \sum x_i \sum y_i^2$$

$$m_{32} = \sum x_i \sum x_i y_i - \sum x_i^2 \sum y_i$$

$$m_{33} = \sum x_i^2 \sum y_i^2 - (\sum x_i y_i)^2$$

である。近似円の中心 (ox, oy) と半径 r は a, b, c を使用して、

$$ox = -\frac{a}{2}, \quad oy = -\frac{b}{2}, \quad r = \frac{1}{2} \sqrt{a^2 + b^2 - 4c} \quad \dots\dots\dots(12)$$

で求めることができる。

ところで、あるエッジ点の集合 E_k を直線と円弧に近似しても誤差の積算 $\sum d_i^2$ が大きく適当な近似ができない場合がある。このときは E_k を誤差の最大になる点で2分割し、それらの各々を再度直線と円弧に近似することにした。抽出された直線と円弧は特徴データ $F I j$ ($j=1$ to m) として一時保存して以降の処理に使用する。

2. 3 特徴抽出処理時間の短縮

特徴抽出処理においては、繰り返して行われる直線と円弧の近似計算が全体の計算時間の中で大きな比重を占めている。我々の特徴抽出の過程ではエッジ検出処理後のエッジ点の集合 E_k を最小二乗法で直線と円弧に近似するが、適当な近似ができない場合は E_k を分割し再度近似計算を行うため、特に E_k が大きい場合には近似計算の回数が多くなる。ところで、我々の認識ターゲットとする対象物は一般的な工業的部品でありそのエッジは直線と円弧に集約できる。つまり E_k が対象物に関するエッジの場合、 E_k は直線か円弧かあるいはそれらの集合である。従って、特徴抽出時に E_k が直線か、円弧か、そのいずれでもないかをまず判断できれば、直線または円弧の近似計算の回数を減らすことができ、特徴抽出処理にかかる時間を短縮することができる。この判断のために我々は以下のアルゴリズムを考えた。

E_k の2つの端点 A, B の座標を $(u1, v1)$ $(u2, v2)$ 、中間点 M を $(u3, v3)$ とする。今 E_k が直線であるとする。と3点 A, B, M はこの直線上に存在する。この場合は線分 AM と線分 BM の傾きが等しいことから、

$$\frac{(v3 - v1)}{(u3 - u1)} = \frac{(v3 - v2)}{(u3 - u2)} \quad \dots\dots\dots(13)$$

であり、これを展開して、

$$(u_3 - u_1)(v_3 - v_2) - (u_3 - u_2)(v_3 - v_1) = 0 \quad \dots\dots\dots(14)$$

が成立するときは3点A、B、Mが直線上にありEkが直線である可能性があると判断できる。ただし、実際には画像上の座標値には画像入力時の量子化誤差等が含まれるので誤差を考慮したパラメータ ε を使用して、

$$(u_3 - u_1)(v_3 - v_2) - (u_3 - u_2)(v_3 - v_1) \leq \varepsilon \quad \dots\dots\dots(14')$$

が成立するときにEkが直線の可能性ありと判断する。

次にEkが円弧であるとするとき3点A、B、Mはこの円弧を含む円の円周上に存在する。円の中心Oを (ox, oy) とすると、Oは線分AMの垂直二等分線 l_{am} と線分BMの垂直二等分線 l_{bm} の交点である。 l_{am} 、 l_{bm} の式はそれぞれ、

$$\left(y - \frac{v_3 + v_1}{2}\right) = -\frac{u_3 - u_1}{v_3 - v_1} \left(x - \frac{u_3 + u_1}{2}\right) \quad \dots\dots\dots(15)$$

$$\left(y - \frac{v_3 + v_2}{2}\right) = -\frac{u_3 - u_2}{v_3 - v_2} \left(x - \frac{u_3 + u_2}{2}\right) \quad \dots\dots\dots(16)$$

であるから、これらの交点が (ox, oy) ならば、

$$\left(oy - \frac{v_3 + v_1}{2}\right) = -\frac{u_3 - u_1}{v_3 - v_1} \left(ox - \frac{u_3 + u_1}{2}\right) \quad \dots\dots\dots(17)$$

$$\left(oy - \frac{v_3 + v_2}{2}\right) = -\frac{u_3 - u_2}{v_3 - v_2} \left(ox - \frac{u_3 + u_2}{2}\right) \quad \dots\dots\dots(18)$$

なので、2式から ox, oy を導くことができる。

$$ox = \frac{1}{2} \times \frac{mx}{(u_3 - u_2)(v_3 - v_1) - (u_3 - u_1)(v_3 - v_2)} \quad \dots\dots\dots(19)$$

$$oy = \frac{1}{2} \times \frac{my}{(u_3 - u_2)(v_3 - v_1) - (u_3 - u_1)(v_3 - v_2)} \quad \dots\dots\dots(20)$$

ここで、

$$\begin{aligned} mx &= (v_3 - v_1)(v_3 - v_2)(v_2 - v_1) + (v_3 - v_1)(u_3 + u_2)(u_3 - u_2) \\ &\quad - (u_3 + u_1)(u_3 - u_1)(v_3 - v_2) \\ my &= (u_3 - u_1)(u_3 - u_2)(u_2 - u_1) + (u_3 - u_1)(v_3 + v_2)(v_3 - v_2) \\ &\quad - (v_3 + v_1)(v_3 - v_1)(u_3 - u_2) \end{aligned}$$

また円の半径 r は円の中心点OとMとの距離であるから、

$$r = \sqrt{(u_3 - ox)^2 + (v_3 - oy)^2} \quad \dots\dots\dots(21)$$

で求めることができる。Ekが円弧である場合はEkの全ての点がOから r の距離に存在する。従って、Ekの構成要素を (ui, vi) ($i=1$ to n) としたときに全ての i に対して、

$$r^2 = (ui - ox)^2 + (vi - oy)^2 \quad \dots\dots\dots(22)$$

が成立するときにEkを円弧と判断することができる。ただし、この場合も (ui, vi) には量子化誤差等が含まれるので誤差を考慮したパラメータ Δr を使用して、

$$(r - \Delta r)^2 \leq (ui - ox)^2 + (vi - oy)^2 \leq (r + \Delta r)^2 \quad \dots\dots\dots(22')$$

が全ての i に対して成立するときにEkを円弧と判断する。

そして、以上の2つの判断がいずれも成立しない場合Ekは直線にも円弧にも近似できないと判断する。これにより最小二乗法の近似計算をせずにEkの分割ができ、特徴抽出の計算時間を短縮することができる。ところで、式(19)、(20)の分母は式(14)の左辺であるので、式(14)がゼロでない

場合すなわち3点A、B、Cが直線上にない場合は3点を通る円の中心 (ox, oy) を求めることができる。

この特徴抽出の改良とあわせて単純なプログラム製作テクニックの工夫によるソフトウェアの最適化を行い、計算時間を最大で20%にまで短縮することができた[10]。

2. 4 特徴マッチング

モデルの作製はオペレータがサンプルの画像から抽出された特徴 F_{Ij} の中から対象物の形状を表現する n 個の特徴を選択することで行われる。選択された特徴 F_{Mi} ($i=1$ to n) は、モデル作製時の座標系で記述する。

特徴マッチングのプロセスではモデルベースの局所の特徴マッチング手法であるLFF法[5]に基づく手順でモデルの特徴組 F_{Mi} と入力画像の特徴組 F_{Ij} との照合を行う。すなわち、まず F_{Mi} の中から代表的な特徴 F_{Ms} に注目し F_{Ij} から対応する特徴を検索する。例えば、 F_{Ms} として一本の線分を使用する場合は線分の長さに注目し F_{Ij} の中から F_{Ms} と長さが所定の許容誤差範囲内で同一の線分を選択する。対応する特徴が見つかったときはこれを F_{Ic} として、 F_{Ms} と F_{Ic} の midpoint の変位 (x', y') と回転変位 α を計算し変換行列(23)式を求める。

$$T = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & x' \\ \sin \alpha & \cos \alpha & y' \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(23)$$

ここで T は二次元の並進 (x', y') と回転 α の座標変換を表現する二次元の座標変換行列である。次に T を使用して(24)式により全ての F_{Mi} の特徴の座標変換を行い対象物の存在を仮定する特徴組 F_{Hi} を生成する。

$$F_{Hi} = T \cdot F_{Mi} \quad (i=1 \text{ to } n) \quad \dots\dots\dots(24)$$

F_{Hi} は、 F_{Ms} と F_{Ic} が対応するならば F_{Mi} が移動して画像中に存在すると仮定(hypothesis)できる特徴組を意味する。そこで F_{Hi} を構成する特徴のひとつひとつについて F_{Ij} の中から対応するものを検索して照合を行い、 F_{Hi} の内の一定数以上の特徴が F_{Ij} の中に存在するときに F_{Hi} の位置に対象物が存在すると判断する。このときの座標変換行列 T は、対象物のモデル F_{Mi} を作製した位置を基準にした対象物の位置および回転角度を示している[11]。検索照合の結果 F_{Hi} の一定数以上の特徴が F_{Ij} の中に存在しない場合は F_{Hi} の仮定が成立しない、つまりここに対象物が存在しないと判断し次の仮定を検索する。

提案する方法では、モデル作製は認識時と同一の計測条件でサンプルの画像を入力して行うので現場の計測条件に合致した再現性良いモデルを作ることができる利点がある。

3. 鑄造部品の位置決め実験

ここでは我々が提案した方法で計測条件を変えて鑄造部品の視覚位置決めを行った実験の結果を示す。実験に用いたハードウェアはロボットコントローラに実装することを考慮したVMEボードで、画像入力からエッジ抽出までを実行するDSPと特徴抽出やマッチングのデータ処理を実行するCPUとで構成して負荷の分担と処理の高速化を図った[9]。画像入力から位置決めまでの処理時間は画像の複雑さに依存するが最大1秒以下である。ハードウェア構成を図2に示す。

図2 ハードウェア構成

Fig.2. Hardware configuration of our vision system

3. 1 実験結果

提案する方法はモデルベーストマッチング法を基本とする方法で、特に計測条件の変動の影響を受けない視覚位置決めを実現した。以下に照明条件の変動、背景の変化、対象物自体の状態変化の条件を実験的につくり対象物の検出を行った結果を写真で示す。いずれの場合も検出に使用した対象物のモデルは1つである。

3. 1. 1 照明条件の変動

従来法では入力画像をそのまま使用するので画像の明るさが一定になるよう遮光措置や照明の管理が必要で図3のように照明条件が変わると対象物の検出ができなかった。提案する方法はエッジベースの処理なので、照明条件の変化や周囲の光の影響を受けにくい。図3は光量過大で部品表面が反射光によるハレーションを起こしている場合と、スポット照明により照明が一樣でない場合の部品検出結果を示したものである。いずれの場合もエッジ抽出と特徴抽出により対象物の検出ができた。

3. 1. 2 背景の変化

従来法では対象物を検出するのに検出対象物の背景を単色にして孤立させるなどの物理的な設定が必要だったため図4のように背景が一樣でない場合は検出ができなかった。提案する方法は特徴ベースなので背景の変化や対象物自体

の汚れや変色の影響を受けにくい。図4は部品ケース内で複数の部品の中から特定の部品を認識した結果および明るさの異なる背景にまたがる部品を認識した結果である。

3. 1. 3 対象物自体の状態変化

提案する方法では局所的特徴マッチングで物体認識を行うので、エッジ抽出や特徴抽出の過程で一部の特徴が抽出されない場合にも部分的な特徴を使用して対象物の検出と位置決めをすることが可能である。このことは対象物の一部の隠れや変形、表面状態の変化がある場合にも部品を認識可能なことを意味する。図5(a)は極端な例だが他の部品で一部が隠れた部品を認識した結果で、図5(b)は特徴抽出の過程でモデルで使った線分が抽出されなかった場合の認識結果である。いずれの場合も部品の一部の特徴がないが残る特徴の一致により対象物を仮定している。

(a) 光量過大でハレーション (b) スポット光による光むら
図3 照明条件の変化と認識結果

Fig.3. Changes in lightings

(a) 他の部品と混在する状態 (b) 白黒に塗り分けた背景
図4 背景の変化と認識結果

Fig.4. Changes in backgrounds

(a) 他の部品で一部が隠れた状態 (b) 他の部品との混在
図5 一部隠れと認識結果

Fig.5. Robustness in incorrect feature extraction

3.1.4 許容範囲の設定と位置精度

さらに、実験システムでは特徴マッチングの許容範囲を設定可能にしたので、計測条件の変化が予測される場合にこれにあわせて許容範囲を設定することができ、計測条件の変化に対してロバストなシステムを構築することができた。図5の実験ではマッチングの許容値を低く設定したために部分的な特徴の一致で認識をしたものである。実験では100%の認識率で鋳造部品の検出ができた。この時の位置精度は1mm以下でありロボットによるハンドリング作業に十分に適用可能である。逆に許容範囲を狭くすれば厳しい条件での位置決めにも対応する。

4. 適用事例

我々はこれまでに電気学会全国大会及び産業応用部門全国大会において、ロボットと結合した鋳造部品のハンドリングシステムなど、モデルベースマッチング法を使用した視覚位置決め適用事例を報告してきた[10]～[13]。この章ではこれらの中で特に、従来法では実現できずモデルベースマッチング法で初めて実現した事例を紹介する。

4.1 薄板部品の位置決めと重なり状態検出

プレス加工前の打ち抜き板材など薄板部品の重なり状態を認識して最上部の部品を検出した例を報告した[13]。部品は図6に示すように素材供給パレット内に平積み状態でカメラ下部に供給される。上部に設置したカメラの画像を使用し、まず第2章で提案した手法で他の部品が重なって一部しか視認できないものを含む複数の部品を検出し、検出結果で2枚以上の部品が重なった箇所を外接四角形で抽出し、この箇所が検出結果のいずれの部品に属するかを評価し、重なり部分が属する部品が属さない部品の上にあると判断することで部品の重なり状態を調べ、最終的には最上部の部品を検出するものである。

図6 薄板部品の認識 システム構成

Fig.6. Location system of thin parts stacked in a palette

図7(a)は7枚のフロッピーディスク(FD)を重ねて実験した画像で、従来法ではこれらを分離できないなどの理由で検出ができなかった。これに対して提案した手法では局所の特徴マッチングにより見えている箇所を検出して複数のFDの候補を抽出し重なる部分を見つけることができる。図7(b)が検出結果で、検出した7枚のFDの線分モデルとその上下関係が画面左上に結果として表示されている。

(a) 7枚のフロッピーディスク (b) 重なり状態の検出結果

図7 重なって置かれたフロッピーディスク

Fig.7. Stacked thin floppy disks and result scenes

4.2 微生物の認識と計数

顕微鏡カメラに映る特定の微生物の同定に提案した手法を適用した例を報告した[14]。顕微鏡カメラの画像は光量を一定に保つことが難しく、また微生物が重なり合って存在するときにこれらを従来法では分離できないため、これまで画像処理の適用は球形の細菌などに限定されていた。これに対して提案した手法では、微生物の周囲のゴミの存在や画像の明るさ変化の影響を受けずに、特定の形状の微生物(針状微生物=シネドリアクス)を検出することができた。シネドリアクスは主に浄水場において原水中に存在し、時により増殖してろ過障害の原因となる微生物であり現在は人が顕微鏡観察により計数する以外に観察の手段がないため計数の自動化が期待されている。

図8(a)は右下部に針状のシネドリアクスが存在する水源水の顕微鏡画像で、図8(b)は検出結果である。顕微鏡画像中にはゴミや他の微生物などが混在しており照明も一様でないなど計測条件は厳しいが、正しく微生物を検出した。

(a) 原水中のシネドリアクス (b) シネドリアクス検出結果

図8 微生物の認識

Fig.8. Recognition of microorganisms in microscope images

5. まとめ

モデルベースマッチング法を用いた鋳造部品の視覚位置決め手法を提案した。エッジベースの特徴抽出と特徴マッチングによる物体認識を行うもので、さらにハードウェアの負荷分散と特徴抽出処理時間短縮を含むアルゴリズムの最適化を行い、計測条件変化の影響を受けにくいなどの実用的な利点を持つ視覚位置決めを実現した。また、提案した方式をベースにした応用例として、重なり部品の検出、微生物の認識を紹介した。

今後は精度速度安定性をより向上させて多くの工場現場で汎用的に使用できる技術として確立させたい。

(平成10年5月21日受付、平成10年9月1日再受付)

文 献

- [1] 秦, "ロボットビジョンの産業への応用," 日本ロボット学会誌, Vol.10, No.2, pp.185-189, 1992
- [2] 江尻, "ロボット工学と物体認識技術," 日本機械学会論文誌, Vol.73, No.162, pp.26-33, 1970.
- [3] 石井, "パターン情報処理システムの研究開発," 電子情報通信学会誌, Vol.82, No.5, pp.482-498, 1982.
- [4] 山田、中野、山本, "照明変動にロバストな部品位置決め用ロボット視覚システム," 日本ロボット学会誌, Vol.14, No.6, pp.911-914, 1996.
- [5] R.C.Bolles, R.A.Cain, "Recognizing and locating partially visible objects, the local-feature-focus method," International Journal of Robotics Research, Vol.1, No.3, pp.57-82, 1982.
- [6] C.H.Chen, P.G.Mulgaonkar, "Automatic Vision Programming," *CVGIP: Image Understanding*, Vol.55, No.2, pp.170-183, Mar. 1992.
- [7] 西川、大西、松本、泉、福永, "カメラ位置姿勢制御を用いたモデルベース物体認識," 電気学会論文誌, Vol.118-C, No.2, pp.210-216, 1998
- [8] J.Porrill, S.B.Pollard, T.P.Pridmore, J.B.Bowen, J.E.W. Mayhew, and J.P.Frisby, "TINA: A 3D Vision System for Pick and place", *image and Vision Computing*, vol.6, pp.91-99, 1988
- [9] マー著、乾、安藤訳, "ビジョン", 産業図書, 1987
- [10] M.Niwakawa, A.Okamoto, T.Onda, N.Fujiwara, "Object Recognition for Casting Parts with Model-Based Matching", *Proc. of JIASC'96*, vol II, pp.E24-E27, 1996.
- [11] 岡本、庭川、恩田, "円および円弧に注目した鋳造部品の画像認識," 平成9年電気学会全国大会講演論文集, p4-424, 1997
- [12] T.Onda, H.Igura, M.Niwakawa, N.Fujiwara, "A Handling System for Casting Parts with Feature-Based Matching," *Proc. of JIASC'94*, pp.71-74, 1994
- [13] 井倉、恩田、藤原, "局所の特徴マッチングによる部品の重なり状態認識," 平成7年電気学会産業応用部門大会講演論文集, pp.127-128, 1995
- [14] 恩田、市川, "画像認識による活性汚泥中生物種同定への画像処理の適用," 電気学会研究会資料, PPE-95-2~7, pp.37-46, 1995

恩田 寿和 (正員) 1954年2月10日東京生まれ。1977

年3月東京工業大学電子物理工学科卒業。1979年3月東京工業大学大学院修士課程修了。同年(株)明電舎入社。主として電子回路応用、マニプレータの制御を経て、画像処理及びコンピュータビジョンの実用化開発に従事。現在同社総合研究所副技師長。

庭川 誠 (正員) 1967年1月11日滋賀生まれ。1989

年3月山梨大学精密機械工学科卒業。1991年3月山梨大学大学院修士課程修了。同年(株)明電舎入社。主として、画像処理及びコンピュータビジョンの実用化開発に従事。現在、同社総合研究所主任。

藤原 伸行 (非会員) 1967年5月24日兵庫生まれ。

1991年3月山形大学機械工学科卒業。1993年3月東北大学大学院修士課程修了。同年(株)明電舎入社。主として、画像処理及びコンピュータビジョンの実用化開発に従事。現在、同社総合研究所研究員。日本ロボット学会、計測自動制御学会会員。

清家 綾子 (正員) 1971年11月21日東京生まれ。1994

年3月青山学院大学理工学部物理学科卒業。同年(株)明電舎入社。主として、画像処理及びコンピュータビジョンの実用化開発に従事。現在、同社総合研究所研究員。