

画像認識によるマイクロマニピュレータ用 自動位置決めシステムの開発

Development of an Automatic Localization System for a Micro Manipulator with Image Recognition

○ 福瀧 僚浩*, 小林 義和**, 白井 健二**

○Tomohiro Fukutaki*, Yoshikazu Kobayashi**, Kenji Shirai**

*日本大学大学院, **日本大学

*Graduate School, Nihon University, **Nihon University

キーワード: 画像認識 (image recognition), 位置検出 (position detection), 自動位置決め (automatic localization)

連絡先: 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1 番地

日本大学大学院 工学研究科 情報工学専攻 生産システム工学研究室 福瀧僚浩,

TEL: (024) 956-8824, Fax: (024) 956-8863, E-mail: fumi@ushiwaka.ce.nihon-u.ac.jp

1. 緒言

近年, 工学, 医療および生物などの分野において物体の微小化が要求され, μm , nm 単位の物体に対する作業が行われつつある. 一方, 現状において, ハンドリング, 加工作業などの, 微小物体への接触作業はマイクロマニピュレータを人間が操作して行っているのが実状である. しかしながら, この作業は高度な技能が要求される他, 技能習熟における人的コストが大きく,

長時間の微細作業に伴う疲労過多による作業過誤などの問題が生じている¹⁾.

これらの問題を解決するためには, マイクロマニピュレータの作業を自動化し, 高精度・高信頼性の作業を維持できるマイクロマニピュレーションシステムの開発が必要である. ただし, どのような作業においても, まず微小物体の位置を正確に検出できることが前提となる.

そこで本研究においては, マイクロマニピュ

レーゾンシステムの自動制御を可能にするための第一段階として、微小物体の移動、変形などに対応し、その位置を正確に検出するシステムを開発した。

2. システム構成

図1にシステム構成を示す。本システムにおいて、CCDカメラには倍率30倍のレンズを、制御用PCのPCIバスには画像キャプチャボードをそれぞれ装着し、両者はカメラアダプタを介して接続されている。これにより微小物体の画像を取得する。そして制御用PC内の、位置検出用プログラムにより、取り込んだ画像から物体の位置を検出する。

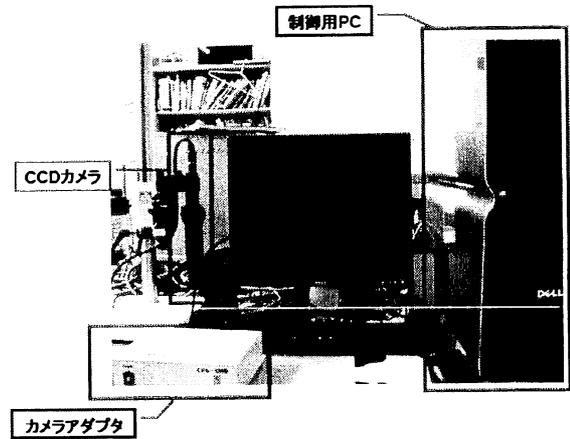


図1 システム構成

3. 位置特定のための画像認識手法

3.1 正規化相互相関画像照合

本システムにおいては、位置検出を行う対象の性質に合わせ、2種類の画像認識手法を用いている。その1つが正規化相互相関画像照合である²⁾。これは図2に示すように、テンプレートという予め用意した画像と、これを処理対象画像上で走査して重なった領域、すなわち、比較領域との相関を調べる手法である。両画像を2値化して得られる画像の、各画素の濃淡値から求めた正規化相互相関係数を相関の判定に利用する。正規化相互相関係数 R_{MCC} の計算式を(1)式に示す。

$$R_{MCC} = \frac{\sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} (P(i, j)T(i, j))}{\sqrt{\sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} P(i, j)^2 \times \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} T(i, j)^2}} \quad (1)$$

ここで P : 処理対象画像の特定画素の濃淡値,
 T : テンプレートの特定画素の濃淡値, M, N : 画素配列の要素番号である。

この R_{MCC} が、別に用意したしきい値よりも大きい場合、比較領域内に物体が存在していると判定する。比較領域内の物体の形状、角度がテンプレートと同一の場合には、極めて信頼性の

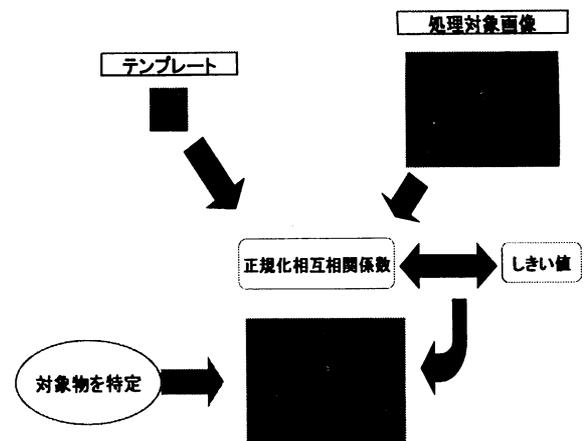


図2 正規化相互相関画像照合

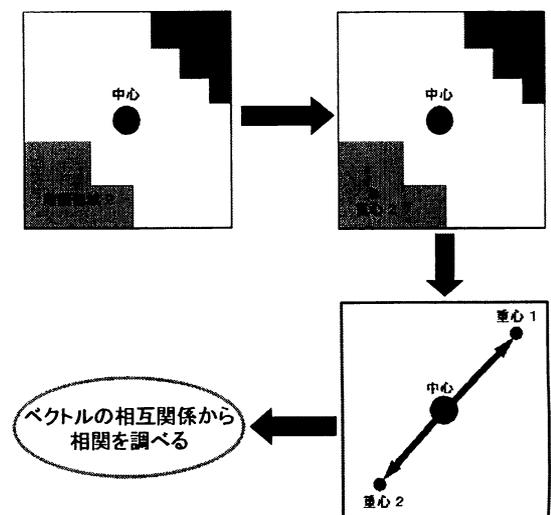


図3 階調重心ベクトル相関画像照合

高い結果を得ることが可能である。

3. 2 階調重心ベクトル相関画像照合

画像認識手法の2つめは階調重心ベクトル相関画像照合である。これは、まず各階調値をもとにテンプレートを細分化し、同一階調値でラベリングする。そして、各ラベリング領域の重心を求め、テンプレートの中心から各重心へのベクトルを求める。最後に、各ベクトル同士の方向、角度の関係を求め、処理対象画像上からその関係と最も相関のある領域を、物体の存在する領域とする。ベクトル関係は回転や明度などに不変であり、正規化相互相関を用いる場合よりも回転に強いという特徴がある。

比較領域の変更は、どちらの手法でもテンプレートを処理対象画像上で走査して行う。走査手順は、まずテンプレートを処理対象画像の左上端から水平方向に1ピクセルずつ移動させ、右端まで行くと左端に戻り、垂直方向に1ピクセル移動させる。処理対象画像の右下端に達するまで、このような動作を繰り返す。水平、垂直方向いずれも、1ピクセル移動させるごとに画像照合を行うため、処理対象画像全体から物体の位置を特定できる。

4. 検出位置の数値化

マイクロマンピュレータが物体の位置を認識するために、 μm などの具体的な単位を持つ数値を得る必要がある。

そこで、本プログラムの仕様から1ピクセルが 0.264mm であること、カメラレンズの倍率が30倍であることを考慮し、検出位置を μm 単位の数値で表示させるようにした。数百 μm サイズの藻を対象として位置検出を行った。

その結果を図4にグラフで示す。検出位置と実際の移動量を比較・検証するために、環境条件は変えず、物体の移動量を変えながら位置検出を行い、縦方向について実際の移動量と検出位置を記録した。グラフから実際の物体の移動量

図4は、以下の通り

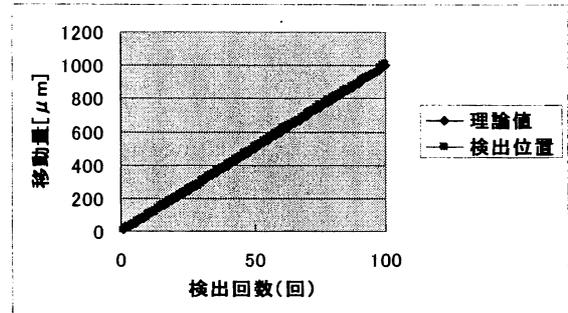


図4 実際の移動量と検出位置の関係

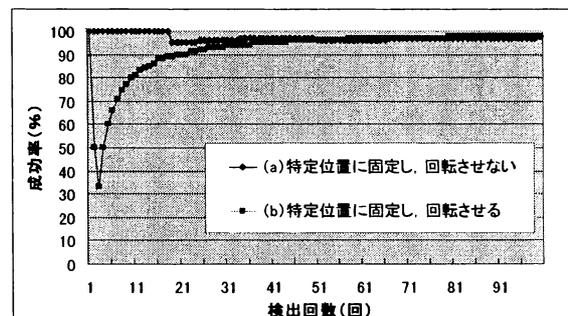


図5 成功率の検証結果

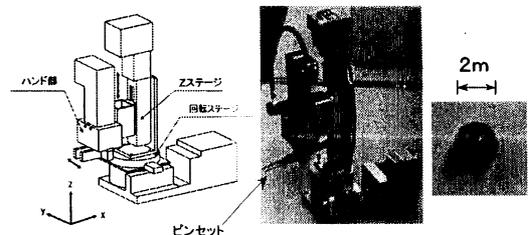


図6 実験用ロボットシステムと実験対象物

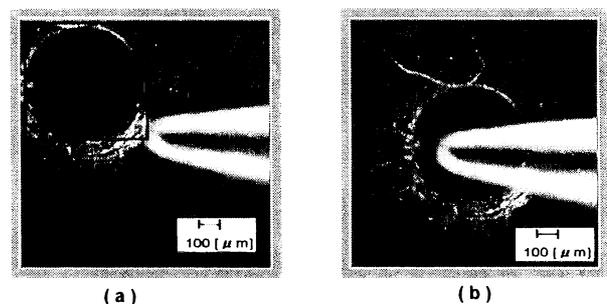


図7 位置決め実験結果

が $1000\mu\text{m}$, 検出位置が $1013\mu\text{m}$ のとき誤差が最大であり, その値は 0.1% であった. この結果から, 全体としての誤差は 0.1% 以下であり, この範囲で数値化した検出位置は正確であることがわかった.

5. 画像認識手法の切り替え

位置検出の成功率を高めるため, 前述の二種類の画像認識手法を物体の特徴, 検出環境に合わせて切り替える機能を追加した. これは以下に示す計算式(2)から求めた手法選択評価値が, より大きい手法を適用する機能である.

$$Smr = wt \times sr \quad (2)$$

ここで, Smr : 手法選択評価値, wt : 環境条件をもとにした当該手法の重み, sr : 当該手法の成功率である.

数百 μm サイズの藻に対して (a) 特定位置に固定し, 回転させない, (b) 特定位置に固定し, 回転させるという条件で位置検出を行い, 本機能による成功率の変化を検証した. その結果を図5に示す. (a) の場合は正規化相互相関画像照合のみで高い成功率が得られるが, (b) の場合は回転に対応できないために成功率が低下する. そこで, 予め手法選択評価値を設定していた, 物体の回転に対応できる階調重心ベクトル相関画像照合へ切り替えることで, 成功率が向上する. これらの結果から, 物体が突然回転してしまった場合でも, 本機能により位置検出を正確に行えることが確認できた.

6. 位置決め実験

図6に示す, ピンセットにより物体の把持・運搬を行うロボットシステムの位置決めの本システムを使用し, その有効性を検証した. 検証するにあたり, 位置検出対象には見易さを考慮して, 図6に示す直径 2mm 程度の球状部品を使用した. また予め, ロボットシステムのピンセ

ットの初期位置は, 初めに物体を検出した位置に合わせている.

結果を図7に示す. (a), (b)の順に位置決めの進捗を表している. ピンセットの先端位置と, 検出位置の間にはほぼ誤差がないことから, 正確な位置決めが可能であることが確認できた. しかしながら, 位置検出と位置決めの間に多少の遅延があり, 動体検出に対応できないという問題がある. 迅速な位置決めのために, 動き予測などを適用する必要がある.

7. 結言

7. 1 結論

画像認識によるマイクロコンピュータ用自動位置決めシステムの開発を行い, 以下の結論を得た.

- (1) 数百 μm の大きさの藻に対して位置検出を行い, 実際の移動量と, 数値化した検出位置を比較・検証した結果, 両者の誤差は 0.1% 以下であることが分かった.
- (2) 画像認識手法を切り替える機能の付加により, 位置検出の成功率を向上させることが可能である.
- (3) 把持・運搬用ロボットシステムの位置決めのために, 本システムを使用することにより, ほぼ誤差のない位置決めが可能である.

7. 2 今後の課題

- (1) 動体検出を可能とするアルゴリズムを適用する.
- (2) 動き予測などを導入し, 位置検出・位置決め間の遅延を解消する.

参考文献

- 1) 田村秀行: コンピュータ画像処理, オーム社 (1997) pp. 252-254.
- 2) 日本産業用ロボット工業会: 産業用ロボットの応用, 日刊工業新聞社, (1979) pp. 1-4.