

円形ターゲットの高精度自動計測

京都大学大学院 学生員 ○福田 大輔
京都大学大学院 正会員 小野 徹

1. はじめに 従来、円形ターゲットの中心座標の計測は画像の輝度値の重心を求めることにより行われていた。従来手法では、円形ターゲットを、画像の輝度値のみを用いて認識しているため画像にターゲットと同じように明るいものが写りこんでいたり、障害物によりターゲットの一部が隠蔽されると対象物の3次元相対座標の計測に大きな影響を与える可能性がある。そのため、円形ターゲットの形状を考慮した計測方法が必要になる。円形ターゲットは画像上では楕円に写ることが知られているが、楕円のパラメータは中心座標、回転、長半径、短半径の5つもあり、直線や円と比べて多数のパラメータを求める必要がある。一般に直線抽出に用いられるハフ変換のような方法では計算コストがかかりすぎてリアルタイム処理が要求される工業計測では実用的ではない。そこで本研究では、小野らが提案した統計的手法を用いて高速に楕円のパラメータを安定して推定する方法を用い、その手法が実画像に対して有効であるかどうかを従来手法と比較をして検証した。

2. 楕円の認識方法

2.1 楕円パラメータの推定値 楕円は長半径 a 、短半径 b 、中心座標 (x_0, y_0) 、回転 α の5つのパラメータと媒介変数 θ を用いて次式で表される。

$$\begin{pmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \cos \theta \\ b \sin \theta \end{pmatrix} \quad (1)$$

この式を線形化し、パラメータの初期値を求め、繰り返し計算を行う必要がある。以下にパラメータの初期値の求め方を示す。

中心座標 (x_0, y_0)

(x_0, y_0) は、輝度値の重心を計算して求める。なお、これらの中心座標は従来手法で求められる中心座標と一致する。

回転方向 α

α はターゲット像の各ピクセルの座標を変量とし、輝度値による重み付けを行った主成分分析により主成分を求めることで楕円の回転方向を計算する。固有値 λ_1 は長半径方向の分散であり、対応する固有ベクトル (l_x, l_y) を用いて回転角 α は次式により求めることができる。

$$\alpha = \arctan(l_y/l_x) \quad (2)$$

長半径 a 、短半径 b

簡単のため、塗りつぶし円で考える。円の方程式が $x^2 + y^2 = a^2$ のとき、分散 σ は y 軸からの距離が k の点の集合について考えると、点の個数は $2\sqrt{a^2 - k^2}$ となるので、塗りつぶし円全体で考えると、

$$\sigma^2 = \frac{\int_{k=-a}^a 2k^2 \sqrt{a^2 - k^2} dk}{\int_{k=-a}^a 2\sqrt{a^2 - k^2} dk} \cong \frac{\int_{-a}^a x^2 \sqrt{a^2 - x^2} dx}{\int_{-a}^a \sqrt{a^2 - x^2} dx} = \frac{a^2}{4} \quad (3)$$

すなわち円の場合、半径は $a = 2\sqrt{\lambda}$ として求められる。楕円の場合も同様にして、

$$a = 2\sqrt{\lambda_1}, b = 2\sqrt{\lambda_2} \quad (4)$$

として求められる。

媒介変数 θ

Sobel フィルタにより求まるエッジの接線方向 ϕ と、 θ は以下のような関係を持つ。まず、回転 α を考慮せずに考える。式 (1) より、

$$\begin{aligned} x &= a \cos \theta \\ y &= b \sin \theta \end{aligned} \quad (5)$$

円形ターゲット

京都市左京区吉田本町 京都大学, 075-753-5064

となることにより，

$$dy/dx = -(b/a) \cot \theta \quad (6)$$

一方，

$$dy/dx = \tan \phi \quad (7)$$

であるから，式(6)と式(7)により，

$$\theta = \arctan\{-(b/a) \cot \phi\} \quad (8)$$

α も考慮すると，

$$\theta = \arctan\{-(b/a) \cot(\phi - \alpha)\} \quad (9)$$

2.2 楕円のフィッティング 2.1に示した方法により，楕円の候補を絞ることができる．また，LoGフィルタによりエッジ点を抽出し，楕円に乗らない異常なエッジ点を除去した後，それらを最小二乗法を用いて楕円にフィッティングすることにより，より高精度に楕円の中心座標を計測できる．本研究では異常なエッジ点の除去を以下の方法により行った．

- 式(9)で求めた θ を式(1)に代入し， x, y を逆算する．エッジ点の座標と比較し，大きく離れていれば異常点として除去する．
- 各エッジ点について (x, y, θ) を式(1)に代入し，中心座標 (x_0, y_0) を逆算する．異常点ならば1点に集中しないはずなので，それらを除去する．

3. 実画像を用いた計測 以上で示した計測方法の有効性を確認するため，実画像を用いた計測を行った．ターゲットに様々な歪みのある画像として，多数の長さの異なる筒状の部材の上に円形ターゲットを貼った被写体を撮影したものを実験の対象とした．画像上の円形ターゲット像の中心座標を上記手順で計測し，従来手法で求められた結果と比較した．なお，ターゲット像の中心座標の真値は不明であるが，計測された結果が真値とずれているかどうか目視により明確に判断できる画像について，従来手法による結果と比較し改善されているかどうか確かめた．

- 図1に示すようなターゲットの一部が欠けているもの (Target'A')

- 図3に示すようなターゲット上に反射の不均一が生じているもの (Target'B')

図2からわかるように，ターゲットの一部が欠けているものについては従来手法では重心位置が本来の位置と大きくずれているが，本研究で用いた方法では本来楕円上に乗らないエッジ点が除去され，改善されているのがわかる．

図4からわかるように，輝度が低下している付近ではエッジ点が除去されている．部分的に輝度が低下すると，エッジ点の位置が本来の楕円よりも内側にずれているため，エッジ点位置 (x, y) の残差が大きくなり異常点であると識別されたものと思われる．このため，最小二乗法によるフィッティングが有効に働き，楕円の中心位置についてみると，1pixel程度の大きな改善につながった．

尚，実験で用いた画像での処理時間を計測したところ，ターゲット画像1枚あたり楕円のパラメータを求めるまでに0.02秒であり，実用上問題ないといえる．

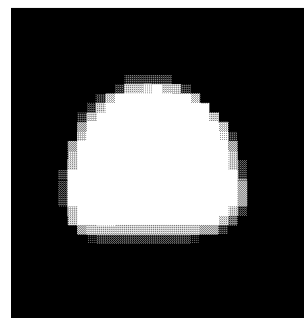


図 1: Target'A'

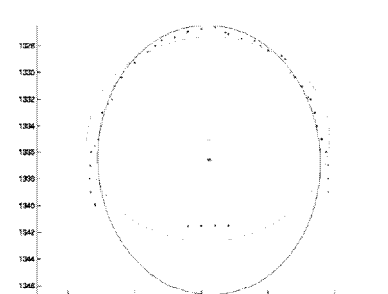


図 2: graph'A'

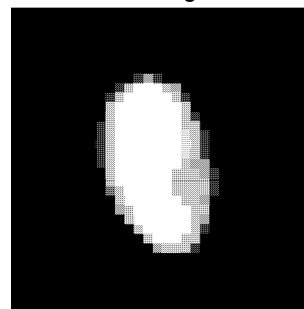


図 3: Target'B'

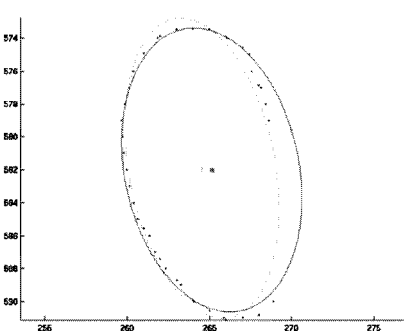


図 4: graph'B'

参考文献

- 1) 小野徹，服部進：円形ターゲットの自動認識と高精度計測，日本写真測量学会 年次学術講演会 発表論文集，pp.159-162, 2001