

工業写真計測での不良ターゲット像の検知について

藤原 遊* 山本 允彦* 服部 進**

Detection of Degraded Target Images in Industrial Vision Metrology

Yu FUJIWARA* Masahiko YAMAMOTO* Susumu HATTORI**

ABSTRACT

This paper reports on experimental results of detection of degraded target images in digital mages for industrial vision metrology. The paper classifies the reasons of degradations. Two detection procedures, a priori and a posteriori, are applied to degraded image detection. A priori procedure is to single out them by ellipse fitting and a posteriori procedure is to detect them by so-called three-sigma criterion on residuals after adjustment. And the experiment shows that a priori procedures do not well work for typical size of images such as 5-10pixels, while the a posteriori procedure can detect half-occluding target images effectively.

キーワード：レトロターゲット, 劣化, 写真計測, デジタルカメラ
Keywords: Retro-target, Degradation, Vision metrology, Digital camera

1. まえがき

デジタルカメラを使った精密工業写真計測では、反射光を返すたくさんのレトロターゲット(光の来た方向に反射を返すターゲット)を対象に貼って、それぞれのターゲットが複数の画像に写るよう、さまざまな方向からストロボを焚いて撮影する。劣化したターゲット像の品質は計測精度に悪い影響を与えるため、できる限り除去する。劣化した像がおきる原因には、ターゲット自体が劣化している「不良ターゲット」、見え隠れが起こっている「劣化ターゲット像」の2つがある。いずれにしても劣化したターゲット像を検出するには、次の2つがある。

- (1) 画像座標を計測する過程で発見する方法(事前的方法)ターゲット像の形が正常の形の楕円から外れていることを、何らかの指標で発見する。
- (2) 調整計算のあとの残差から発見する方法(事後的方法) - 大きな残差を数理統計的に大誤差とし

てはじき出す。

この論文はこれらの方法が有効に働いているかを実験的に検証する。すなわち像の形からの劣化した像の除去、大誤差検知による除去の可否をそれぞれ考察する。

2. レトロターゲット

レトロターゲットは図1に示すビーズ玉を並べた反射素材の周囲に、無反射インクを印刷してターゲットを丸く抜いた構造をしている。経験上およそ5-10画素程度の直径に写るのが精度上最も優れている。あまり大きく写ると楕円の中心がターゲットの中心と一致しなくなる。また直径が3画素またはそれ以下であると、ターゲット像の中心座標の計測精度が劣る。図2に正常なターゲット像を示す。

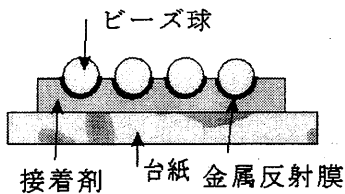


図1 レトロターゲットと反射素材
Fig. 1 Foundation of a Retro-target

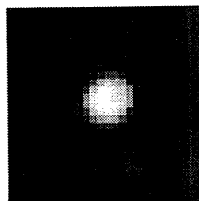


図2 正常なターゲット像
Fig.2 Healthy target image

3. 劣化ターゲット像, 不良ターゲットの分類と像

(1)不良ターゲット - 台紙が傷んだり, 一部がはがれたりして反射が不均質, あるいは一部が欠けている. 図3参照.

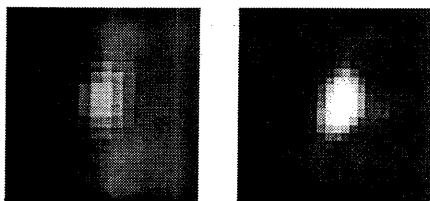


図3 欠けターゲット
Fig.3 Partially deficient target images

(2) でこぼこターゲット - ターゲットを貼る面が平坦でない. 図4参照.

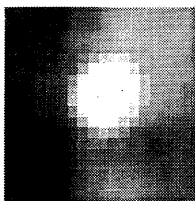


図4 でこぼこターゲット
Fig.4 Target image on a bumpy surface

(3) 見え隠れターゲット - ターゲットが一部隠れて写ったもの. 像は扇形に写らず, やはり楕円に見えてしまう. 図5参照.

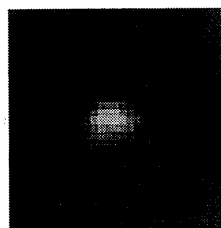


図5 下部7割が隠れたターゲットの像
Fig.5 70% occluded target image

(4) 偽ターゲット - ターゲットに似た形の反射物. 図6参照.

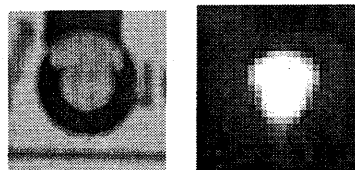


図6 いくつかの偽ターゲットのスナップと像 (やや接近して撮影)

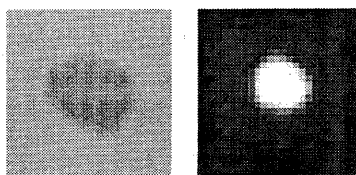


Fig.6 Snapshots of images of false targets

4. 劣化したターゲットを含んだターゲット場の計測

劣化したターゲットが計測にどの程度影響するかをしらべるため, これらのターゲットを含まない場合と含む場合の調整計算を比較した.

図3の欠けターゲット3個, 図4のでこぼこターゲット1個, 図6の偽ターゲット3個の7点, および正常な5mmターゲット58個をあわせて, 図7に示す310*220*150mmのダンボール箱の内外に貼り付けた. 実験に使ったカメラはNIKON D100, レンズは20mm単焦点レンズである. 像は理想の5-10画素程度に写るようにした.

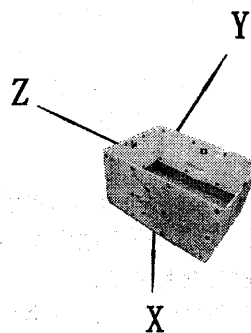


図7 ターゲットを貼ったダンボール箱
Fig.7 Card board box with targets

この密度は計測での標準的なパターンである。ただし不良ターゲット像を事後的に取り除く性能は、ターゲットの密度が大きく影響する。密度高くターゲットを貼れば検出の出力は上がるため、ここでの結果は絶対的なものではない。

周囲 8 方向から高さ 3 段階、1 箇所につき 90 度ずつカメラを光軸周りに回転して 2 枚ずつ、計 48 枚の写真を撮影した。

ターゲット像の画像座標を次のように計測した。

○ターゲット像の周辺部をクリックし、周囲で最も明るい画素を検知する。この画素を中心として、一辺 d 画素(大きさは可変で最初に設定する)の正方形をつくり、そのなかにターゲット像が含まれるとする。正方形内のターゲット像の最高明度が 80 以上(最大 255)であれば、ターゲットであるとする。

○四角の周辺部の平均画素値 I_c 、標準偏差を σ_c とするとき、 $I_c + 3\sigma_c$ を閾値として、ウィンドウ内を 2 値化する。黒を 0、白を 1 として 2 値化後の白面積が 10 以上であれば、ターゲットを検知したとする。

○2 値化して白と判定した領域を抜き出し、元の画素値で正方形内の重心を計算する。

これ以外に図 8 の偽ターゲットが表れた。上記の規範では、正常と判断された。合計で 962 点のターゲット像が得られた。図 7 の偽ターゲットの像は、ダンボールに貼ったテープが光を反射したものである。

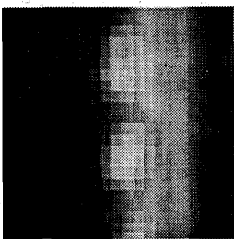


図 8 ターゲット以外
のものからの反射光
Fig.8 False targets by
reflection light

①全点を調整計算した結果

次に画像全体を接続し、48 枚の画像の外部標定要素 288、内部標定要素 8 (画面距離、主点座標、レンズひずみの Brown パラメータ 5)、ターゲットの空間座標 $58 \times 3 = 174$ 、全未知パラメータ 470 でバンドル調整した。

まず全点を調整したところ、表 1 の結果を得た。事後精度は、調整計算の結果得られる画像座標の計測誤差の事後推定量である。msx,msy,msz はそれぞれ X,Y,Z 方向の対象空間座標の精度であり、msxyz はその 2 乗平均値である。精度は、劣化像をはずしたときの表 4 と比較してずいぶん悪い。

②3σ法での大誤差除去

σ を画像座標の計測精度の事後推定量とする。3σ 法は調整計算後の残差が 3σ を超える座標は大誤差と判断する方法である。

表 1 不良ターゲットを含む全点の計測精度 (単位 mm)

Table 1 Adjustment precision with all images including degraded images (mm in unit)

	事後精度	msx	msy	msz	msxyz
単位[mm]	0.000831	0.0979	0.0577	0.0884	0.0831

観測方程式の非線形性が強いので、3σ法をそのまま適用するのではなく、4σの値で大誤差を除去し、再調整する操作を 3 回程度繰り返した。この結果 15 点の大誤差が検知された。図 10 に、大誤差が含まれているままでの調整計算後の画像座標の残差を示す。上、下の図はそれぞれ x, y 座標の残差図、横軸は各ターゲットの像を画像ごとに並べたものである。検知された 15 個の大誤差はすべて見え隠れの像であり、不良ターゲットの像は検知できなかった。

③最終調整結果

さらに 3σ法を適用したところ、見え隠れターゲット像 10 個、不良ターゲット像 8 個が大誤差として除去された。この結果表 2 が得られた。これによりすべての見え隠れターゲットが除去された。欠けターゲットはほとんどが正常と判断された。欠けてもほとんど像は楕円と変わらないためである。でこぼこターゲットは、斜めから撮影されたものだけが残差が大きく除去されている。この結果を表 2 に示すが、表 4 の不良ターゲットを含まない場合に比べてもほとんど精度が変わらない。

表 2 大誤差を取り除いたときの計測精度 (mm)

Table 2 Adjustment precision after singling out gross errors (mm in unit)

	事後精度	msx	msy	msz	msxyz
単位[mm]	0.000239	0.0304	0.0165	0.0301	0.0265

5. 不良ターゲットを含まない計測

比較のために全く不良ターゲットを含まないセットを調整した結果を示す。この調整で使用した写真は 4. の不良ターゲットを含む計測で使用したものと同じものである。

①全点を調整計算した結果

全画像点は 916 点であった。調整計算の結果を表 3

に示した。

②3σ法での大誤差除去

3σ以上の残差を示した計測値を除去した結果、見え隠れターゲット11個が誤差として検出された。

③最終的な調整結果の精度

3σ法を繰り返した結果、最終的には24個の見え隠れターゲットがすべて除去された。事後誤差は0.2μmであり、きわめてよい精度である。また対象空間座標の計測精度は26μmであり、経験的に標準的な値である。

表3 正常なターゲット像全点での計測精度(mm)

Fig.3 Adjustment precision with healthy targets only (mm in unit)

	事後精度	msx	msy	msz	msxyz
単位[mm]	0.0008	0.0947	0.0526	0.0885	0.0807

表4 見え隠れターゲット像の大誤差を取り除いた計測の精度 (mm)

Fig.4 Adjustment precision with images singling out occluded target images (mm in unit)

	事後精度	msx	msy	msz	msxyz
単位[mm]	0.000231	0.0305	0.0165	0.0305	0.0267

6. 楕円当てはめから正常なターゲット像であるかを判断する試み

以上の実験で見たように、不良ターゲットの像は番号付けをすり抜けた。全体としての精度は不良ターゲットの存在によって、多少劣化することがわかったが、予想されたほどではなかった。

この結果、不良ターゲットの像は座標計測の段階で検出しなければ、事後的に取り除くことは困難である

といえる。そこで次にターゲット像に楕円当てはめをおこなって、どの程度前もって劣化したターゲット像を除去できるかを調べた。

正常なターゲットでは像は楕円に写る。ただし10画素以上に写らないと周囲がぼけてはっきりした形には写らない。そのため直接楕円を当てはめたとき、

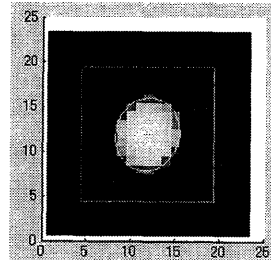


図9 楕円のあてはめ
Fig.9 Ellipse Fitting

極端な場合を除いて、あてはめ精度から楕円であることを判断するのは難しい。ここでは楕円の大きさ、扁平率から判断することにした。

4. で述べた方法で、ターゲット像を取り出し、2値化した画像の境界線に対して、楕円を当てはめた。図9に楕円を当てはめた様子を示す。劣化ターゲット像を取り除くための設定は次のようにした。

- (1)ターゲット像の最高明度 80以上(最大255)
- (2)ターゲットの2値化後の面積 10画素以上
- (3)当てはめた楕円の扁平率0.5以上

このときの対象空間座標の平均精度は0.11mmで、画像座標の計測精度は $\sigma=1.2\mu\text{m}$ であった。劣化したターゲット像は取り除くことができず、4. と全く同じ結果であった。他の設定でもやはり同様であった。5-10画素程度の像では楕円当てはめは、劣化ターゲット像の除去に有効でないことがわかった(なお10画素以上の像では有効であったが、別に報告する)。

参考文献

[1]秋元圭一, 服部進:画像計測の基礎, 岡山職業能力開発短期大学校紀要, 第11号, pp.23-38,1997

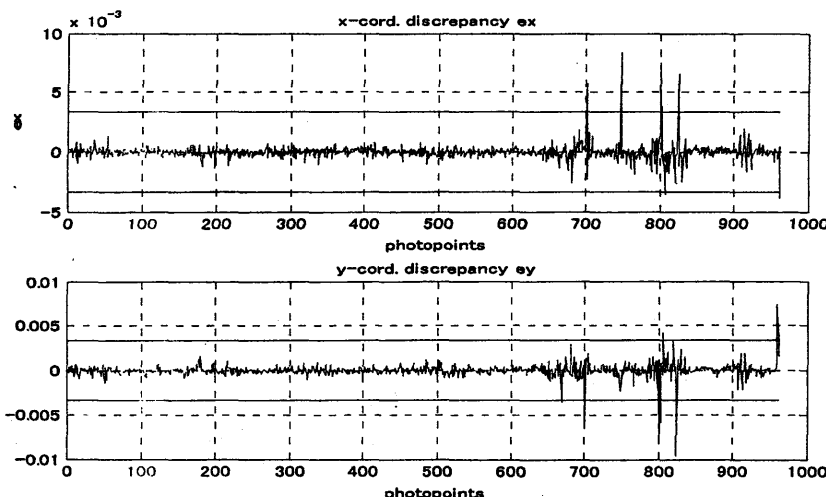


図10 調整計算での画像座標の残差
上下それぞれ x, y の残差である
Fig.10 Residuals of target image coordinates
The upper and lower figures show residuals in x and y respectively.