

円形ターゲットの投影歪みを利用したターゲット場の形状推定

京都大学工学部 学生員 須山 賢造
 京都大学大学院 正会員 小野 徹
 大気社 福田 大輔

1. 研究の背景と目的 土木分野においても円形ターゲットを用いたデジタル写真測量による三次元形状計測が行われるようになってきた。その方法は被写体上の円形ターゲットを重複撮影し前方交会法により計測するものであるため、複数の画像の個々のターゲットを同定する作業が必要となりコードターゲットを用いるなど様々な工夫が必要であった。このような方法を用いるを得ないのはターゲット像を点としてしか見ていないためであり、ターゲット像の形状を正確に計測し有効利用すれば、単画像だけでカメラから見たターゲットの傾きと位置を推定することが可能となる。そしてこれより、円形ターゲットのみでターゲットの同定や調整計算のための初期値の取得などを行うことが可能になると考えられる。

しかし、この手法を実現するためにはターゲット像の厳密な幾何学的投影関係を明らかにしなければならない。また一般にターゲットは画像上で小さく写り、わずかな誤差がターゲットの傾きと位置の推定精度に影響を与えるため、様々な誤差要因がターゲット像の投影関係に与える影響についても確かめなければならない。そこで、本研究では円形ターゲットの幾何学的投影関係を求める方法を開発するとともに⁽¹⁾、様々な誤差要因が傾き方向の推定にどのような影響を与えるか実験を行い確認した。

2. ターゲット像の幾何学的投影関係 カメラで撮影されたターゲット像は非対称性をもつ中心投影像であるため、正確には楕円ではない。しかし、ターゲット像が小さく写ることから対称性をもつ疑似中心投影像に近似することができ楕円とみなすことができる。これより画像上のターゲット像の形状は楕円として式(1)で表される。ここで中心座標 (x_c, y_c) 、長半径 a 、短半径 $b = a \sin \theta$ 、傾き α 、媒介変数 ζ である。そして媒介変数を除く5つの楕円パラメータをターゲット像の形状を表す値として画像より計測する。

$$\begin{pmatrix} x - x_c \\ y - y_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \cos \zeta \\ b \sin \zeta \end{pmatrix} \quad (1)$$

しかし、ターゲット像には中心投影歪みが生じているためターゲット像の形状より直接ターゲットの傾きを求めることはできない。そこで、疑似中心投影でのターゲット像の輪郭を定式化すると式(2)で表すことができる。ここで、ターゲット半径 r 、焦点距離 c 、 α は Z 軸周りの θ は X 軸周りのカメラ座標とターゲット座標の回転、 $[x_o, y_o, z_o]$ はカメラ座標から見たターゲット中心座標、 η は媒介変数である。 α, θ はターゲットの傾きを直接表しており、 $[x_o, y_o, z_o]$ よりターゲットの位置を推定することができる。

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = (1 - \cos \theta \cdot r \sin \eta / z_o) \left\{ \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x_o \cdot c / z_o \\ y_o \cdot c / z_o \end{pmatrix} \right\} \quad (2)$$

画像から得られるターゲット像の楕円パラメータより式(2)を用いて α, θ を推定できればよいがそれは難しい。そこで、本研究ではターゲットの中心を通る光線に直交する仮想画像面を介することで間接的にターゲットの位置や傾きを求める方法を開発した。詳細については省略するが以下のシュミレーションより有効性を確認した⁽¹⁾。焦点距離20mmのレンズを用いて同一平面上の半径10mmのターゲットを撮影距離1.6m、撮影角度 $\alpha = 30.00, \theta = 60.00$ で撮影した場合の結果を表1に示す。画像上のターゲット像の α や θ は中心投影歪みの影響を受けるため同じ平面でも位置により値にばらつきが生じターゲットの傾きを表していないが、 α と θ は正しく推定されており、この手法によりターゲット像の形状よりターゲットの傾きを推定することが可能であることがわかる。

表1: シュミレーション結果 [deg]

No	α	α	θ	θ
1	38.29	30.00	50.73	60.00
2	67.90	30.00	65.42	60.00
3	12.14	30.00	46.29	60.00
4	-9.30	30.00	51.62	60.00

ターゲット計測

京都府京都市左京区吉田本町,075-753-5064,075-753-5064

3. ターゲット像に影響を与える誤差要因 デジタルカメラの撮影ではターゲットから出た光が空気中を伝わりレンズによりセンサー面に投影されデジタル画像として保存されるまでに様々な誤差が混入する。主な要因として、周囲の明るさ、空気中の粒子による屈折散乱、シャッター速度、絞り、感度等のカメラの設定、レンズ歪みや焦点距離等レンズの性質、センサーのノイズ、デジタル化によるずれ、ターゲットの傾き等が考えられる。

これらの影響を調べるため、撮影条件を変えて楕円パラメーターがどのように変化するか簡単な実験により調査した。その結果、センサーのノイズやデジタル化によるずれ等の偶然誤差の影響はターゲットを十分大きく写し、統計的処理をすることで影響を減らすことができた。しかし、ターゲットの傾きが大きすぎたり小さすぎたりする場合には悪条件となり無視できなくなった。またレンズ歪み等の影響はカメラキャリブレーションで補正することができた。最も影響が大きかったものは画像の明るさで、画像が明るいほどターゲット像は大きく、暗いほど小さく写る傾向があった。これは画像の明るさがほぼ一定になるように設定し、画像処理を加えることで影響を減らすことができた。

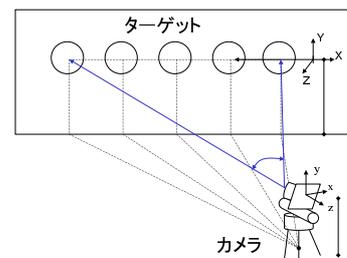


図 1: 近接撮影

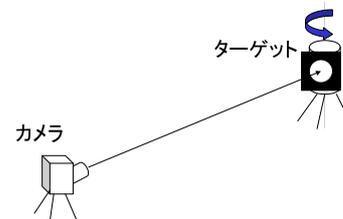


図 2: 遠距離撮影

4. 実験 以上の実験を踏まえ、ターゲット像の形状より推定したターゲットの位置と傾き（計算値）と直接計測により求めた位置と傾き（実験値）を比較する実験を行った。実験は一樣な壁に水平に貼ったターゲットをカメラを回転させながら近接撮影する実験 1（図 1-距離と角度が変化）とターゲットを回転させながら遠距離撮影する実験 2（図 2-距離一定で角度変化）の 2 つを行った。その結果を α, θ , 位置について計算値から実験値を引いた値について表 2, 表 3 に示す。 α, θ は撮影角度が小さい時を除けば 1 度程度の差であり大きく逸脱してはいないので調整計算の初期値としては良い精度で推定できることが確認できた。しかし位置に関しては実験 1 より撮影距離が離れる程、計算値は実験値よりも大きく推定されていることがわかった。撮影距離の長い実

表 2: 近接撮影-計算値と実験値の差

角度 [deg]	6.15	20.71	32.56	42.33	49.70
距離 [m]	2.26	2.40	2.66	3.03	3.45
α [deg]	12.53	5.43	-0.12	0.56	-0.23
θ [deg]	2.93	1.96	1.00	1.07	0.34
位置 [mm]	-19.48	-7.22	9.74	12.18	97.59

表 3: 遠距離撮影-計算値と実験値の差

角度 [deg]	3.25	8.25	...	53.25	58.25
距離 [m]	23.11	23.11	...	23.11	23.11
α [deg]	-7.02	0.77	...	1.41	1.35
θ [deg]	0.14	0.15	...	-0.36	-0.77
位置 [mm]	826.21	881.22	...	831.92	853.60

験 2 ではさらに差は大きくなっていることから、距離が離れるとターゲット像は理想的に投影される場合よりも実際には小さく投影されていると考えられる。撮影距離に比べて 1/10 以下の差であるが、系統的な誤差であり 3 次元形状の計測で大きな歪みを生じさせる可能性があるため、性質や補正方法について考えて行かなければならない。原因としては空気中の粒子による光の散乱による影響が考えられるが、平面上に貼った 2 枚のターゲット間の距離と画像上でのその距離から投影の縮尺を求め、ターゲットより求めた縮尺と比較することでターゲット像はどのように投影されているのか確認する実験等を行う必要がある。

5. 結論と今後の課題 円形ターゲットの幾何学的投影関係の解明によりターゲット像の形状からターゲットの傾きや方向を推定する方法を開発できた。実験によりその推定精度の確認を行った結果、大きな誤差は無く推定できることはわかった。しかし、円形ターゲットの投影像の形状が画像の明るさ、撮影角度、撮影距離等の影響により変形するため誤差が生じることが判明した。さらに正確なターゲットの位置と傾きの推定を行いこの方法を実用化するため、これらの誤差の影響を減らす撮影方法、補正方法を考え、実験、開発していかねばならない。

参考文献

(1) 福田 大輔, 円形ターゲットを用いたカメラキャリブレーション, 京都大学工学研究科修士論文 (2004)