

カメラ回転方式によるパラメータの高精度化

深田陽司

三菱電機産業システム研究所
〒661 尼崎市塚口本町8-1-1

移動ロボットを想定して、カメラシステムの回転機構を活用し情景を利用する、単眼によるカメラパラメータ算出方式が提案されていた。この手法では、ワールド座標軸として部屋の隅や机など固定備品のカドを採用して、パラメータ算出の解析式と画像処理誤差に強い近似式が導出された。実験によってカメラパラメータが安定して算出できることが確認されたが、その精度は検証されていなかった。本稿では近似式で算出されたこれまでの解を初期値として、未知数であった変数をこれらを用いて算出し元の解析式に代入して計算しなおすことを繰り返すことによって精度を高める手法を述べる。そしてシミュレーションによってその有効性を確認する。

Improvement in Camera-parameters Calculation
by Rotation Mechanism

Youji FUKADA

Industrial Electronics & Systems Development Lab., Mitsubishi Electric Co.
8-1-1, Tsukaguchi hon-machi, Amagasaki 661, Japan

A camera parameters calculation method utilizing the rotational mechanism of a camera system has been proposed. This method has been formularized and algebraic equations have been derived. Besides, approximate ones have been derived considering inevitable image processing error and certified to be robust by experiments. However, the precisions of their solutions are not clear. In this paper, an improvement in precisions is described. It is realized by adopting the so far approximate solutions as initial ones and substituting them into original algebraic equations, and adopting its solutions as new initial ones. Its effectiveness is certified by simulation experiment.

1. まえがき

カメラパラメータを算出する研究の一つとして、測定用の専用物体を使用する方式がある。Wangら⁽¹⁾は直方体の平行エッジの消失点を利用し、Echigo⁽²⁾は多数の平行線を描いた専用物体を使用してそれらの消失点を利用している。他の例として Tsai⁽³⁾は専用物体上の多数の点（その位置座標は既知）を利用している。カメラが固定されている状況においては一度測定すればよく、これらの手法は高精度であり有効である。

ところで移動ロボットを考えると対象となる情景は次々と変わり、カメラ固有以外のパラメータは動的に変化する。その都度キャリブレーションを行わねばならない。上に述べた方式を利用しようとするれば、測定用物体が常に撮像されているか、それを自ら運搬し直面している情景の中に設置する必要が生じる。後者の場合、設置が不可能な状況も起こりうるし、たとえ可能であっても固定されていない測定用物体に対するキャリブレーションしかできない。

このような問題点に対して、ステレオ画像を利用し撮像されている情景を利用する方式が提案されている。さらに Faugerasら⁽⁴⁾は、ステレオ方式と類似しているが、3つ以上の地点から撮像してそのうちの2枚ずつの画像における7点以上の対応から、結像距離（横方向と縦方向のスケールファクタを考慮した、画素単位の2つの結像距離）とカメラ固有パラメータ（のうちの画像中心と撮像面の回転角）の5つのパラメータを算出する手法を提案している。ここで結像距離とは、レンズ中心と画像面（撮像面）との間の距離である。

一方筆者は、2つのカメラ間の基線長がそれ程は大きくとれない移動ロボットを想定して、カメラシステムの回転機構を活用して情景を利用する単眼方式を提案した。この手法では、ワールド座標軸として部屋の隅や机など固定備品のカドを採用し、その近辺に存在するワールド座標系における位置が既知の点（以後、参照点と呼ぶ）を利用する。まず移動ロボットの作業（興味ある物体の認識やその位置・姿勢の決定）対象となるシーンから、ワールド座標軸シーンへカメラを回転した後、焦点をあわせるために結像距離を変更して撮像し、この状態のカメラパラメータを算出した後パラメータ値を順次逆算して、作業対象シーンのキャリブレーション（即ち結像距離とカメラの位置・姿勢の7つのパラメータの決定）を行う。さらにパラメータ算出の解析式が画像処理誤差に弱いことを考察し、誤差に強い近似式を導出して⁽⁵⁾⁽⁶⁾、実験によって安定して算出できる（即ち多数の算出値の分散が小さい）ことを確認した。しかしその精度は検証されていなかった。

本稿では近似式で算出されたこれまでの解を初期値として、これらによって未知数であった変数を算出し元の解析式に代入して計算しなおすことを繰り返すことによって精度を高める手法を述べる。そしてシミュレーションによってその有効性を確認する。

2. 座標系の設定

本章と次章では、すでに提案されたカメラ回転方式によるパラメータ算出⁽⁵⁾⁽⁶⁾について、本稿で必要な程度に簡潔に述べる。

2.1 カメラシステム

図1に示すカメラシステムは、システムに固定の点（以後、回転中心と呼ぶ）を中心にして、自身の軸方向まわりに回転できる機構をもつ。図2にY軸方向まわりの平面図を示す。結像距離は、撮像面はカメラシステムに対して固定のまま、レンズを前後に移動することによって変更される。その移動距離は測定できるものとする。

カメラパラメータのうち、カメラに固有の画像中心（画像原点）と撮像素子の横縦の大きさおよびその比（アスペクト比）は、前もって測定されている。また本方式に特有の、カメラの回転中心からレンズ中心へのベクトル（以後、回転変位ベクトルと呼ぶ）は測定できるものとする。実験で使用したカメラシステムは回転ステージやゴニオメータなどの光学器具で構成されており、カタログなどの情報から図1に示すように測定できている。撮像時に変化し算出すべきカメラパラメータは、結像距離とカメラの位置・姿勢の7つである。

2. 2 第1カメラ座標系

認識などの作業対象となる物体を撮像しているカメラ座標系を第1カメラ座標系 ($O_1 X_1 Y_1 Z_1$) と呼ぶ。結像距離を f_1 (画素単位では f_{1v}) とする。第1カメラ座標系は図3に示すように、ワールド座標系 ($O_w X_w Y_w Z_w$) と一致した状態から Y_1 軸, X_1 軸, Z_1 軸まわりに β , α , γ だけ回転し、 $T_1 = (T_x, T_y, T_z)$ だけ平行移動しているとする。回転行列と平行移動行列を R_{1w} , T_{1w} とすると、点Pの位置座標およびベクトルEの2つの座標系における値は、これらの行列の線型式で関係づけられる。

回転変位ベクトル t_1 (要素を t_x, t_y, t_z とする) の第1カメラ座標系での大きさは計測されており定数である: $t_x = 0.0 \text{ mm}$, $t_y = 80.0 \text{ mm}$, $t_z = 77.1 \text{ mm}$ 。本節を含めて以下で述べる第 i カメラ座標系で撮像した画像を第 i 画像と呼ぶ。

2. 3 第2カメラ座標系

第2カメラ座標系 ($O_2 X_2 Y_2 Z_2$) は、ワールド座標軸や参照点が撮像できるよう、回転中心を中心にして第1カメラ座標系を Y 軸方向まわりに ν だけ、 X 軸方向まわりに μ だけ回転 (回転行列を R_{21} とする) した座標系である。これらの回転角は与えられるものとする。結像距離は不変である (つまり、 $f_2 = f_1$)。

この時カメラ座標系原点と回転中心との位置関係は不変なので図2に示すように、回転変位ベクトル t_2 の第2カメラ座標系における大きさは、 t_1 の第1カメラ座標系における大きさと同じである。回転変位ベクトルによる平行移動行列を T_{12} とすると、点Pの位置座標およびベクトルEの2つの座標系における値は、行列 R_{21} と T_{12} の線型式で関係づけられる。

2. 4 第3カメラ座標系

第3カメラ座標系 ($O_3 X_3 Y_3 Z_3$) は、第2カメラ座標系の姿勢を保ちつつワールド座標軸や参照点に焦点を合わせた座標系である。参照点は第3画像に撮像されているものとする。

結像距離を変更することは、レンズ中心の Z 軸 (光軸) 方向への平行移動 (Δz とする) であり、 $f_3 = f_2 + \Delta z$ である。この行列を T_{32} とすると、点Pの位置座標の2つの座標系における値は、 T_{32} の線型式で関係づけられる。回転変位ベクトル t_3 (要素を t_x', t_y', t_z' とする) の第3カメラ座標系における大きさは t_1 とは次の関係にある: $t_x' = t_x$, $t_y' = t_y$, $t_z' = t_z + \Delta z$ 。

2. 5 Y回転カメラ座標系

ワールド座標系原点を画像原点到に撮像するための第1ステップとして、第3カメラ座標系を回転中心を中心にして Y 軸方向まわりに回転した座標系の総称である。回転変位ベクトル t_y の Y 回転カメラ座標系における大きさは、 t_3 の第3カメラ座標系における大きさと同じである。回転行列を R_{3y} 、回転変位行列を T_{3y} とする。結像距離は不変である。

2. 6 X回転カメラ座標系

ワールド座標系原点を画像原点到に撮像するための第2ステップとして、ワールド座標系原点を V 軸上に撮像している Y 回転カメラ座標系を、回転中心を中心にして X 軸方向まわりに回転した座標系の総称である。結像距離は不変である。

2. 7 第4カメラ座標系

第4カメラ座標系 ($O_4 X_4 Y_4 Z_4$) はワールド座標系原点を画像原点到に撮像している座標系であり、第3カメラ座標系を回転中心を中心にして Y 軸方向まわりに ψ だけ、 X 軸方向まわりに ϕ だけ回転 (回転行列を R_{43} とする) して得られたとする。結像距離は不変である ($f_4 = f_3$)。回転変位ベクトル t_4 と t_3 のそれぞれの座標系における大きさは同じである。

第4カメラ座標系は、ワールド座標系と一致した状態から Y_4 軸, X_4 軸, Z_4 軸まわりに β' , α' , γ' だけ回転し、 $T_4 = (T_x', T_y', T_z')$ だけ平行移動しているとする。回転行列と平行移動行列を R_{4w} , T_{4w} とすると、点Pの位置座標およびベクトルEの2つの座標系における値は、これらの行列の線型式で関係づけられる。

3. パラメータ算出式

3.1 回転角の算出⁽⁵⁾

第4カメラ座標系のワールド座標系に対する回転は、ワールド座標軸の第4画像における像 l_i ($i=1\sim 3$)の画像座標系 (O_i, UV) 表現を $l_i: a_i'U + b_i'V = 0$ とすると、以下の式

$$\begin{aligned} \tan \gamma' &= -b_2/a_2, \\ \tan \beta' &= \pm \sqrt{\frac{(a_1 a_2 + b_1 b_2)(a_2 b_3 - a_3 b_2)}{(a_2 a_3 + b_2 b_3)(a_1 b_2 - a_2 b_1)}}, \\ \sin \alpha' &= \tan \beta' (a_2 a_3 + b_2 b_3) / (a_2 b_3 - a_3 b_2) \end{aligned} \quad (1)$$

で算出され、その存在範囲および半直線 l_i の傾きより、 α' 、 β' 、 γ' はそれぞれ一意に決定できる。ここで、 $a_i = a_i' \text{rat}$ 、 $b_i = b_i'$ 、($i=1\sim 3$)であり、 rat はアスペクト比である。

第3カメラ座標系のワールド座標系に対する回転行列 R_{3w} は

$$R_{3w} = R_{43}^{-1} R_{4w} \quad (2)$$

によって算出され、第1カメラ座標系のワールド座標系に対する回転行列 R_{1w} は

$$R_{1w} = R_{n1}^{-1} R_{43}^{-1} R_{4w}$$

によって算出されて、回転角 α 、 β 、 γ はその存在範囲より一意に決定できる。

3.2 結像距離の算出⁽⁶⁾

結像距離 f_{3x} ($= f_{4x}$)は、第3画像と $\Delta\psi$ 、だけ回転したY回転画像の2枚を用いて、以下の2次式

$$f_{3x}^2 - \{u_3 t_s + (u_3 - u_s) / t_s\} f_{3x} + u_3^2 = 0 \quad (3)$$

を解くことによって、画像処理誤差や計算まるめ誤差に対して安定して算出できる。ここで、 $t_s = \tan \Delta\psi$ であり、 u_3 と u_s はワールド座標系原点 O_w の第3画像およびY回転画像におけるU座標値である。

結像距離 f_{1x} ($= f_{2x}$)は、 f_{3x} と距離 Δz (を画素単位で表した値)を用いて容易に算出できる。

3.3 平行移動の算出⁽⁵⁾

第4カメラ座標系のワールド座標系からの平行移動ベクトル $T_4 = (T_x', T_y', T_z')$ は、

$$(T_x', T_y', T_z', 1) = (0, 0, T_4 \cdot r_3, 1) R_{4w}$$

より算出できる。ここで r_i は R_{4w}^{-1} の左上 3×3 行列の第 i 列を要素とするベクトルである。変数 $T_4 \cdot r_3$ は、参照点を1つ(ワールド座標系における位置座標ベクトルを X とする。第4画像座標値を $\{u', v'\}$ とし、 $u = u'$ 、 $v = v' \text{rat}$ とする)ずつ別個に利用する場合は

$$T_4 \cdot r_3 = X \cdot r_3 - f_{4x} \sqrt{(X \cdot r_1)^2 + (X \cdot r_2)^2} / \sqrt{u^2 + v^2}$$

によって算出され、参照点を2つずつ(ワールド座標系における位置座標ベクトルを X_i とする。第4画像座標値を $\{u_i', v_i'\}$ とし、 $u_i = u_i'$ 、 $v_i = v_i' \text{rat}$ 、($i=1, 2$)とする)の組として利用する場合は

$$T_4 \cdot r_3 = \{f_{4x} (X_2 \cdot r_1 - X_1 \cdot r_1) + (u_1 X_1 \cdot r_3 - u_2 X_2 \cdot r_3)\} / (u_1 - u_2)$$

または、

$$T_4 \cdot r_3 = \{f_{4x} (X_2 \cdot r_2 - X_1 \cdot r_2) + (v_1 X_1 \cdot r_3 - v_2 X_2 \cdot r_3)\} / (v_1 - v_2)$$

によって算出される。

すると第 i ($i=3\sim 1$)カメラ座標系のワールド座標系からの平行移動ベクトルは、各回転変位ベクトルをそれぞれの座標系のワールド座標系に対する回転行列(R_{4w} 、 R_{3w} 、 R_{2w} 、 R_{1w})を用いて、ワールド座標系での値に変換することによって順に、以下の式を用いて算出される。

$$T_3 = T_4 + t_3 - t_4,$$

$$T_2 = T_3 + t_2 - t_3,$$

$$T_1 = T_2 + t_1 - t_2.$$

4. 高精度化

器具による回転量やレンズの移動距離の計測には誤差はないとすると、本来求めるべき第1カメラ座標系のカメラパラメータは、第3のそれらから正しく計算できる（ただし計算のまるめ誤差などはないとする）。そこで簡単のためにこれら計測値は0、つまり $\mu = \nu = \Delta z = 0$ とする。すると第1～第3カメラ座標系は同一なので、第3カメラ座標系のパラメータ算出を考察すればよい。

結像距離は式(3)によって算出されるが、この式は第3カメラ座標系をY軸まわりに回転したときの回転量($\Delta\psi$)が小さいことなどを利用してテーラー展開を行った近似式であった。ここで式(3)を導出するための元の式を考察する。点Pの位置座標に関して、第3([P]と表記する)と $\Delta\psi$ 、だけ回転したY回転カメラ座標系([P]と表記する)の間には以下の関係がある。

$$[P] = [P] T_{3Y} R_{3Y}^{-1} T_{3Y}^{-1} \quad (4)$$

ここで、行列は以下のように具体的に表される。

$$T_{3Y} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ t_x' & t_y' & t_z' & 1 \end{bmatrix}, \quad R_{3Y} = \begin{bmatrix} \cos\Delta\psi & 0 & -\sin\Delta\psi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin\Delta\psi & 0 & \cos\Delta\psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

第3およびY回転カメラ座標系におけるワールド座標系原点の位置座標をそれぞれ $[X_3, Y_3, Z_3]$ 、 $[X_s, Y_s, Z_s]$ とする。その像の、第3画像およびY回転画像におけるU座標値を u_3, u_s とすると、これらの座標値の間には以下の関係がある。

$$u_3 = f_{3x} X_3 / Z_3, \quad u_s = f_{3x} X_s / Z_s \quad (5)$$

また、Y回転カメラ座標系におけるXおよびZ座標値は、式(4)を展開すると、

$$X_s = X_3 \cos\Delta\psi + t_x' (\cos\Delta\psi - 1) - (Z_3 + t_z') \sin\Delta\psi, \quad (6)$$

$$Z_s = (X_3 + t_x') \sin\Delta\psi + Z_3 \cos\Delta\psi + t_z' (\cos\Delta\psi - 1) \quad (7)$$

と具体的に表せる。

式(5)のうちの後式に(6)と(7)を代入すると、

$$\frac{u_s}{f_{3x}} = \frac{\{(X_3 + t_x') \cos\Delta\psi - (Z_3 + t_z') \sin\Delta\psi - t_x'\}}{\{(X_3 + t_x') \sin\Delta\psi + (Z_3 + t_z') \cos\Delta\psi - t_z'\}} \quad (8)$$

回転変位ベクトル $[t_3]$ は計測されて定数化されているが、第3カメラ座標系におけるワールド座標系原点の位置は不明なので X_3 と Z_3 は未知であり、式(8)からは結像距離 f_{3x} は算出できなかった。

そこで、(5)の2つの式の差

$$u_3 - u_s = f_{3x} (X_3 / Z_3 - X_s / Z_s)$$

における X_s / Z_s 、つまり式(8)の右辺に対して、 $t_x (= t_x \tan\Delta\psi)$ が小さいこと、ワールド座標系原点の奥行き(Z_3)にくらべて、他の変数(X_3 や回転変位ベクトル)が小さいという仮定を利用してテーラー展開をおこなって、

$$u_3 - u_s = f_{3x} t_x \{1 + (u_3 / f_{3x})^2 - (u_3 / f_{3x}) t_x\}$$

が導出された。これを变形すると式(3)が得られるが、これは f_{3x} 算出の近似式である。そしてこの近似値を用いて、他のカメラパラメータが算出された⁽⁵⁾。

ここで、これまで未知であった第3カメラ座標系におけるワールド座標系原点の近似的な位置は既知となる。すると結像距離 f_{3x} は近似式(3)を使わずとも、式(8)を用いて計算できる。つまり、近似式による f_{3x} とそれを用いて算出したカメラパラメータを初期解として、式(8)によって結像距離を算出し、それを用いて平行移動を算出することを繰り返すことによって精度を高めることができる。ここで回転角については、第4画像を用いて式(1)と式(2)より算出されるので、高精度化ははかれない。

5. シミュレーション実験と考察

文献^{(5)・(6)}で提案したカメラ回転方式による、カメラパラメータ算出手法を高精度化した本手法の精度を、シミュレーションによって検証する。ワールド座標軸の像は軸上の点の像を抽出し直線近似によって得るので、画像処理による誤差は参照点を含めて点の抽出時に発生する。点の抽出誤差は平均が0の正規分布に従うと仮定し、標準偏差が σ 画素 ($\sigma = 0 \sim 1$, 5画素の5種類) に対してシミュレーション実験を行う。

ワールド座標軸は原点から各々200mm長で、均一間隔で並んだ11点からなっているとし、参照点としてはワールド座標軸面上の、(50, 50, 0)mmと(0, 50, 50)mmの2点とする。これらの点の生成像に誤差を加える。座標軸の像はこれらの点の像を最小二乗法で直線近似する。

初期解(つまり高精度化をはかる以前の解)のカメラパラメータ算出に使用する画像は以下の4枚である。まずワールド座標系原点をY軸上に撮像するための回転角 ψ とこの時の結像距離の算出には、第3画像とY軸まわりに $\Delta\psi$ だけ回転したY回転画像の2枚を使用する。回転角 ϕ の算出には ψ だけ回転したY回転画像を1枚使用する。そして第4画像の計4枚である。これら4枚の画像に正規分布の誤差を加える。

以下に示すカメラパラメータ(文献⁽⁵⁾における実験1の結果)を正解として与えて画像を生成し、シミュレーションを行った。回転変位ベクトルのカメラ座標系での大きさは、2.2節で述べた測定値である。実験は各誤差に対して異なる正規分布で5回行いその平均をとる。図4に繰り返すことによって結像距離と平行移動(それぞれ5回の平均)が高精度化されていく様子を示す。同図より2回目で大きく改善され、おおよそ5回程度繰り返せば収束していることがわかる。同図において各 σ に対する1回目の結果が、高精度化をはかる以前の手法の精度を与えるシミュレーション結果である。

$$f_{ix} = 2028.3 \text{画素}, \quad R_{1u} = (13.326, 46.637, 0.484) \text{度}, \\ \text{rat} = 0.98760, \quad T_{1u} = (-650.9, 272.0, -716.4) \text{mm}.$$

図4では5回の平均をとっているので明かではないが、誤差の標準偏差が小さい場合は5回の実験の各々はそれ程大差のない解がえられたが、標準偏差が大きくなると個々の実験の間で解は大きく異なっていた。 $\sigma = 1.5$ の場合に、これより小さい誤差に対する結果よりも一見よい結果がえられているようにみえるのは、平均を表示していること、また正規分布は1000個以上のデータ分布に対してそれらしい分布になり、5個程度ではばらつきが大きい、などの理由によると思われる。

表1は、5回繰り返した結果の誤差(与えた正解との差の絶対値)とその割合を示す。回転角についてはZ軸まわりの回転 γ が小さいので、差の絶対値のみ表示してある。同表から誤差は1%以下であり、(繰り返すことによって高精度化した)カメラ回転方式によるカメラパラメータ測定手法の有効性がわかる。

他の手法との精度比較は、前提条件が異なること^{(1)・(4)}、算出対象が異なること⁽⁴⁾、シミュレーション精度がパラメータそのものでなく算出値による生成画像と原画像とにおける点の座標値の差である⁽²⁾、などにより公平な比較は困難であるが、表2にWangらの結果(文献⁽¹⁾における表4)との比較を示す。同表においては比較項目をあわせるために、方向は3つの回転角の平均を、距離は平行移動ベクトルの大きさを採用した。結像距離については、Wangら⁽¹⁾では算出値の平均からのずれの平均の割合である。

6. あとがき

本稿では、すでに提案していたカメラ回転方式による7つのカメラパラメータ算出手法を、高精度化する手法を述べた。近似解であったこれまでの算出値を初期解として、無視していた未知数を計算し近似式を導出した元の解析式に代入してカメラパラメータを計算しなおす。これを繰り返すことによって、精度を高める。本手法の有効性を、シミュレーション実験によって確認した。実験では、5回繰り返せば誤差が1%以下の、正解に充分近い値が得られた。

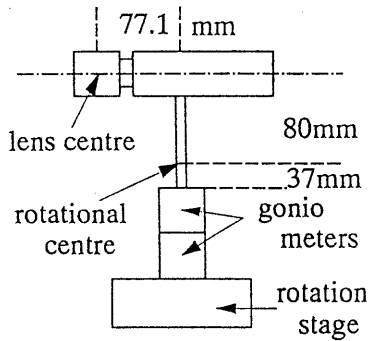


図1 カメラシステム

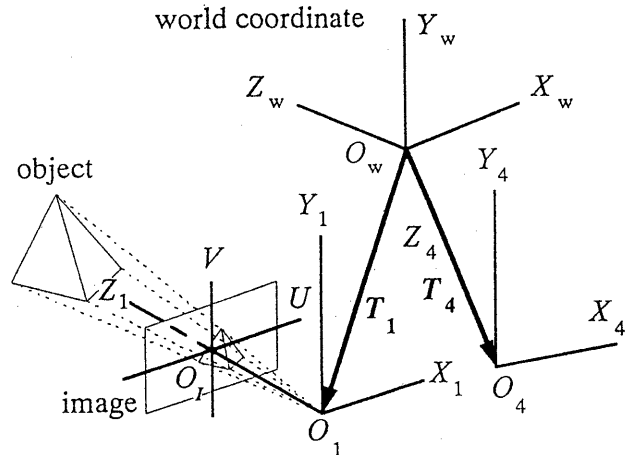


図3 座標系の設定

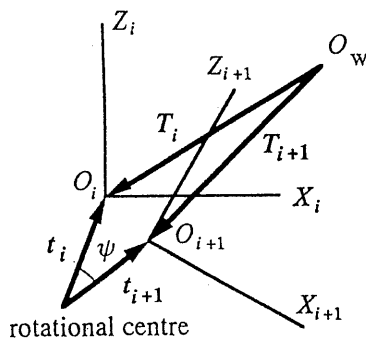


図2 Y軸方向まわりの回転

表2 精度比較

	本手法 ($\sigma=1.0$)	Wang の手法 ⁽¹⁾
結像距離	0.468 %	1.000 %
方向	0.084 度	1.200 度
距離	0.438 %	1.900 %

表1 シミュレーション結果

σ (画素)	f_x (画素/%)	回転 (度)			平行移動 (mm/%)		
		α	β	γ	T_x	T_y	T_z
0.00	0.0	0.004	0.001	0.000	0.0	0.0	0.0
	0.000				0.000	0.000	0.000
0.50	3.6	0.001	0.009	0.003	1.2	0.5	1.3
	0.177				0.184	0.184	0.181
1.00	9.5	0.050	0.111	0.090	1.4	1.6	4.2
	0.468				0.215	0.588	0.586
1.25	15.0	0.053	0.027	0.015	4.3	2.6	5.0
	0.740				0.661	0.956	0.698
1.50	5.5	0.002	0.072	0.049	1.1	0.4	2.5
	0.271				0.169	0.147	0.349

参考文献

- (1) Wang L.L. and Tsai W.H., "Computing camera parameters using vanishing-line information from a rectangular parallelepiped", Machine Vision and Applications, 3, 3, pp.129-141, 1990.
- (2) Echigo T., "A camera calibration technique using three sets of parallel lines", ibid, 3, 3, pp. 159-167, 1990.
- (3) Tsai R.Y., "An efficient and accurate camera calibration technique for 3D machine vision", Proc. 86 Computer Vision and Pattern Recognition, pp.364-374, 1986.
- (4) Faugeras O.D. Luong Q.T. and Maybank S.J., "Camera self-calibration: theory and experiments", Proc. 92 European Conf. on Computer Vision, pp.321-334, 1992.
- (5) 深田, "回転方式によるカメラパラメータの算出," 情処研報, CV79-1, pp.1-8, 1992.
- (6) 深田, "注目点を画像原点に投影させるためのカメラシステム回転角の算出法," 情処研報, CV78-3, pp.17-24, 1992.

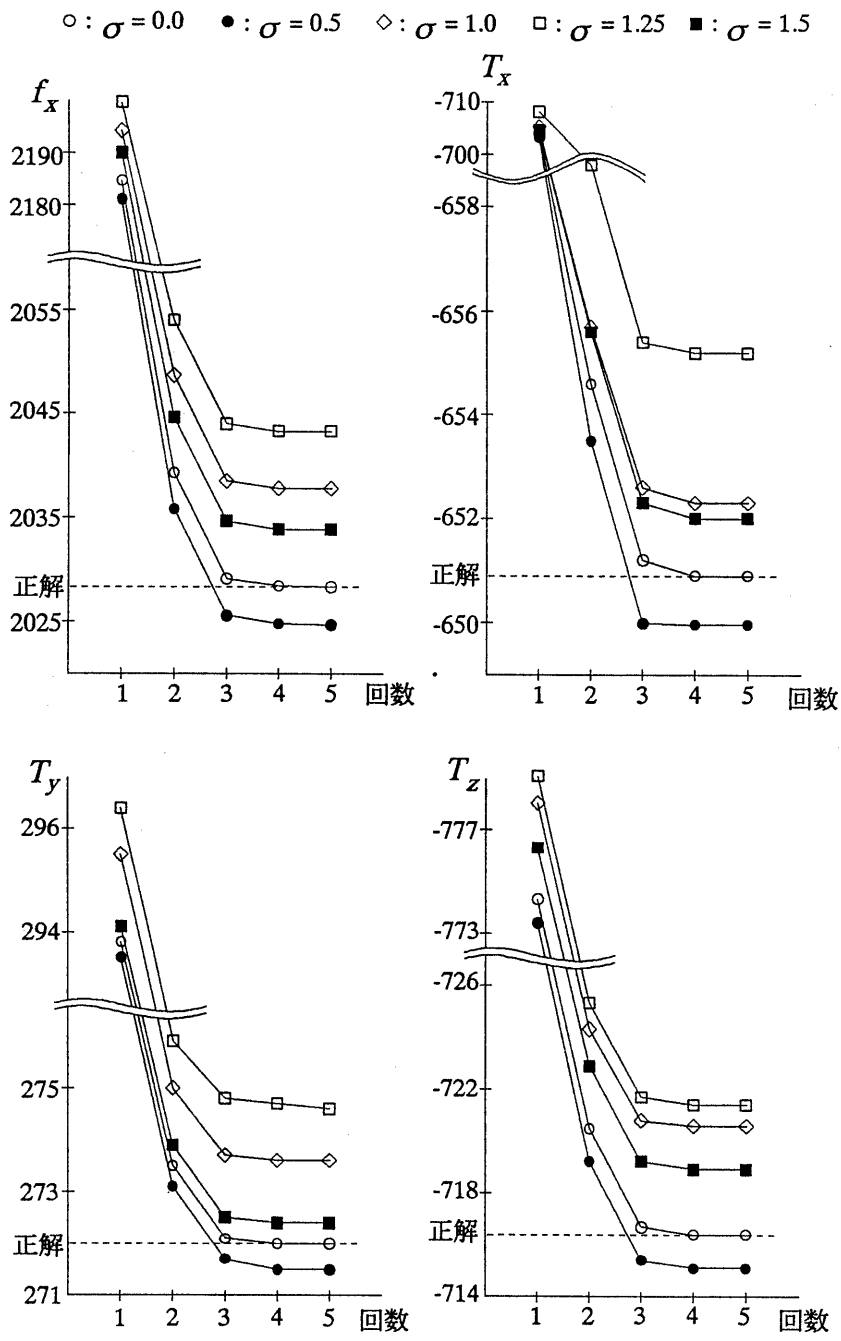


图4 高精度化