

《计算机视觉》实习指导书

郑顺义

1. 实习要求及实习数据

数据：

- (1) 消除畸变的影像 2 张（整个过程不考虑畸变）；
- (2) 控制点编号方式和控制点坐标；
- (3) 相机内部参数。

实习内容：

- (1) 在影像上提取控制点并编号；
- (2) 分别计算每张影像的外部参数，外部参数初始值的计算可以参照参考文献《利用二维 DLT 及光束法平差进行数字摄像机标定》；
- (3) 基于点的三维重建知识，利用第 2 步计算的影像参数和第 1 步提取的控制点的像点坐标，计算控制点的三维坐标，并和给定的控制点坐标比较，看误差多少，从而检查第 2 步计算的影像参数的正确性。
- (4) 在两张影像之间做匹配，利用匹配的同名点计算对应的物方三维坐标，显示计算得到的物方三维坐标、控制点坐标、相机位置，检查计算结果的正确性。

2. 平差模型：

本次实习采用共线条件方程：

$$x - x_0 = -f \frac{a_1(X - X_s) + b_1(Y - Y_s) + c_1(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)} = -f \frac{\bar{X}}{\bar{Z}}$$
$$y - y_0 = -f \frac{a_2(X - X_s) + b_2(Y - Y_s) + c_2(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)} = -f \frac{\bar{Y}}{\bar{Z}}$$

其中，旋转和平移如下：

$$R = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{bmatrix} \quad T = \begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix}$$

3. 影像外部参数计算

3.1 外部参数初始值计算

外部参数初始值的计算可以参照参考文献《利用二维 DLT 及光束法平差进行数字摄像机标定》。

3.2 外部参数精确求解

(1) 平差模型

由共线条件方程，以像点坐标为观测值，可得：

$$\begin{cases} x = (x_0 - f \frac{\bar{X}}{\bar{Z}}) \\ y = (y_0 - f \frac{\bar{Y}}{\bar{Z}}) \end{cases}$$

$$\begin{cases} x + v_x = (x_0 - f \frac{\bar{X}}{\bar{Z}}) + d_x = (x) + d_x \\ y + v_y = (y_0 - f \frac{\bar{Y}}{\bar{Z}}) + d_y = (y) + d_y \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_x \\ d_y \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x - (x) \\ y - (y) \end{bmatrix}$$

列误差方程：

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial X_s} & \frac{\partial x}{\partial Y_s} & \frac{\partial x}{\partial Z_s} & \frac{\partial x}{\partial \varphi} & \frac{\partial x}{\partial \omega} & \frac{\partial x}{\partial \kappa} \\ \frac{\partial y}{\partial X_s} & \frac{\partial y}{\partial Y_s} & \frac{\partial y}{\partial Z_s} & \frac{\partial y}{\partial \varphi} & \frac{\partial y}{\partial \omega} & \frac{\partial y}{\partial \kappa} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X_s \\ \Delta Y_s \\ \Delta Z_s \\ \Delta \varphi \\ \Delta \omega \\ \Delta \kappa \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x - (x) \\ y - (y) \end{bmatrix}$$

$$V = Ax - L$$

最小化 $V^T P V$ 可以得到如下的参数估计公式：

$$A^T A x = A^T L$$

$$x = (A^T A)^{-1} A^T L$$

(2) 误差方程的系数推导

误差方程的系数推导可以参阅摄影测量相关的参考书。

(3) 解算的具体流程

- 1) 对给定的图像进行处理，提取控制点的像点坐标并正确编号，和控制点物方坐标一一对应。
- 2) 对每个控制点列误差方程
- 3) 根据误差方程列法方程
- 4) 求解法方程得到改正数

$$\Delta X_s \quad \Delta Y_s \quad \Delta Z_s \quad \Delta \varphi \quad \Delta \omega \quad \Delta \kappa$$

- 5) 更新外方位元素，重复以上步骤，直到满足退出条件为止。

$$X_s = X_s + \Delta X_s$$

$$Y_s = Y_s + \Delta Y_s$$

$$Z_s = Z_s + \Delta Z_s$$

$$\varphi = \varphi + \Delta \varphi$$

$$\omega = \omega + \Delta \omega$$

$$\kappa = \kappa + \Delta \kappa$$

6) 得到最终的外部参数

$$X_s \quad Y_s \quad Z_s \quad \varphi \quad \omega \quad \kappa$$

4. 精度检查

基于点的三维重建知识，利用第 2 步计算的影像参数和第一步提取的控制点的像点坐标，计算控制点的三维坐标，并和给定的控制点坐标比较，看误差多少，从而检查第 2 步计算的影像参数的正确性。

5. 影像匹配与点的三维重建

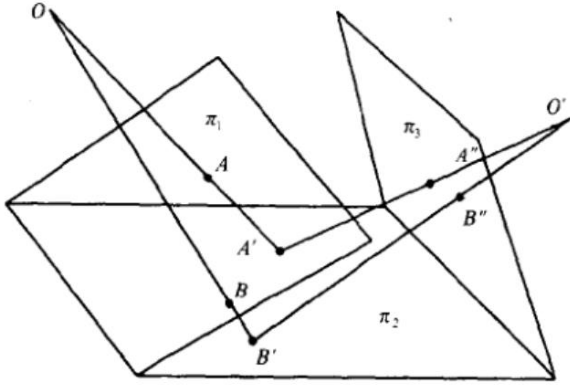
在两张影像之间做匹配，利用匹配的同名点计算对应的物方三维坐标，显示计算得到的物方三维坐标、控制点坐标、相机位置，检查计算结果的正确性。

6. 实习成果提交要求

提交的实习成果，包括实习报告和相关算法代码及软件。实习报告的内容包括：本次实习的基本原理、实现步骤（包括一些中间结果）、得到的相关结果、分析总结等。

附 1 当影像是一个空间平面的投影时的外部参数计算

当影像是一个空间平面的投影时，那么空间平面上的点与影像上的点满足二维射影变换。



设像点为 $[x \ y \ 1]^T$ ，物方点坐标为 $[X \ Y \ Z \ 1]^T$ ，则有：

$$\lambda \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ h_7 & h_8 & h_9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix}$$

由第 1 式和第 2 式除以第 3 式，消去 λ 得：

$$x = \frac{h_1 X + h_2 Y + h_3}{h_7 X + h_8 Y + h_9}$$

$$y = \frac{h_4 X + h_5 Y + h_6}{h_7 X + h_8 Y + h_9}$$

由共线方程得：

$$x - x_0 = -f \frac{a_1(X - X_s) + b_1(Y - Y_s) + c_1(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)} = -f \frac{\bar{X}}{\bar{Z}}$$

$$y - y_0 = -f \frac{a_2(X - X_s) + b_2(Y - Y_s) + c_2(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)} = -f \frac{\bar{X}}{\bar{Z}}$$

通过上两式比较，再根据内部参数已知，可以求得外部参数初始值，具体推导过程可以参见参考文献《利用二维 DLT 及光束法平差进行数字摄像机标定》。