

一种新的利用模板进行摄像机自标定的方法

全红艳^{1,2}, 张田文¹

(1. 哈尔滨工业大学计算机学院, 黑龙江哈尔滨 150001; 2. 东北农业大学工程学院, 黑龙江哈尔滨 150036)

摘 要: 提出了一种利用圆环点进行标定的新方法. 它要求摄像机在至少三个不同的方位对模板进行拍摄, 通过对模板图像的角点的提取, 计算圆环点的图像坐标, 从而可以线性求解出摄像机的全部内部参数, 进而可以求取摄像机运动的外部参数. 通过模拟及真实数据实验均证实了该方法简单、方便、精确度高, 而且具有很强的鲁棒性.

关键词: 摄像机标定; 圆环点; 角点提取; 内部参数; 外部参数

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2005) 11-1941-05

A New Camera Self-Calibration Method Using Template

QUAN Hong-yan^{1,2}, ZHANG Tian-wen¹

(1. Computer Science & Technology Institute, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150001;

2. Engineering Department, North East Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150036)

Abstract: A New method for camera calibration using template is proposed. This method requires camera to take the template picture from three different positions. Through corner extraction and circular points calculation, the camera's intrinsic parameters can be obtained linearly, and its extrinsic parameters can also be calculated. Simulation and real experimental data all verify that it has the characteristic of simplicity, convenience and accuracy.

Key words: camera calibration; circular points; corner extraction; intrinsic parameter; extrinsic parameter

1 引言

目前, 随着摄影测量学和计算机视觉技术的发展, 出现了多种摄像机标定方法^[1,2]. 为了克服传统的利用标定参照物进行标定的缺点, 从而使非视觉专业的研究人员很方便地进行标定, Zhang 提出了一种简单、方便的利用平面模板代替标定块的方法^[3], 其方法中模板上点阵的物理坐标的确定, 以及物理坐标与图像点的匹配影响了标定的精度, 如果选取的标定点较多时, 这种匹配也带来了许多不便. X Q Meng 进一步研究提出了一种基于圆环点的摄像机标定方法^[4], 他利用一种新型的标定模板, 即利用一个圆和通过圆的若干直线, 线性求解摄像机的全部内参数. 他的方法简单、方便克服了模板上点与图像点的匹配问题. 但由于噪声、直线检测误差等原因, 过圆心的各直线的像 l_i 并不总交于圆心所成的像点, 圆心的像点总是近似确定, 从而影响了标定的精度. 他所利用的模板中包含了直线和圆两种图元, 这对于它们的像的提取带来了不便, 该方法在模板的制作过程中也要对圆心精确定位. 针对这些问题, Guanghui Wang 提出了一种利用非平行的矩形通过计算两个圆环点的图像来标定摄像机的方法^[5]. 该方法中需要对两个矩形图像进行边缘的提取以及直线的拟合, 这些给标定带来了不便, 从而也影响了标定的精度.

基于以上的标定方法所存在的问题, 这里提出了一种基于圆环点标定的新方法. 该方法是利用一种新的模板, 即正方形及四边上的中点构成的模板 (如图 1 所示), 摄像机在至少三个不同方位拍摄模板图像, 即可线性得到摄像机的全部内部参数, 克服了由确定圆心的像点所带来的误差, 同时也避免了两个矩形的边缘检测和直线拟合所带来的误差.

2 基于圆环点标定的新方法

2.1 摄像机的成像模型及平面上的圆环点

假设摄像机的模型是常用的针孔模型, 从三维空间的点 $X = (x, y, z, 1)^T$ 到图像空间点 $m = (u, v, 1)^T$ 的成像关系为:

$$m \cong K[R | t]X. \text{ 其中 } K = \begin{bmatrix} f_u & s & u_0 \\ 0 & f_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ 为摄像机的内部参数}$$

矩阵, R, t 是摄像机坐标系相对于世界坐标系的旋转矩阵和平移向量, 符号 $\cong$ 表示在相差一个比例因子意义下的相等.

在三维摄影空间中, 模板平面上的无穷远直线 L_∞ 上的两个共轭复点 $I(1, i, 0, 0), J(1, -i, 0, 0)$ 称为圆环点^[6]. 利用过圆心 $(O_x, O_y, 0, 1)$ 的任意半径的圆方程与无穷远直线 L_∞ 的方程联立, 便可得到两个圆环点.

无穷远平面上 ($t = 0$), 满足 $\tilde{M}^T M = 0$ 的点构成绝对二

次曲线 ω , 它的像为二次曲线 $K^T K^{-1}$, 二次曲线的像包含了摄像机的内部参数信息. 由于圆环点的像在二次曲线 $K^T K^{-1}$ 上^[4], 根据这一原理, 我们利用模板求出圆环点的像点坐标, 将它们代入二次曲线 $K^T K^{-1}$ 的方程中, 从而可以求解出摄像机的全部内部参数.

2.2 由正方形模板确定圆环点的图像

模板如图 1 所示, A', B', C 和 D' 是正方形的四个角点, E', F', G 和 H' 分别是其边 $A'D', B'C', A'B$ 和 $C'D$ 的中点, O 是 $E'F$ 和 $G'H$ 的交点 (如图 1 所示). 该模板的像如图 2 所示, $A, B, C, D, E, F, G, H, O$ 分别是 $A', B', C', D', E', F', G', H'$ 和 O 的像点, 为了进一步说明, 我们画出其对角线 (实际标定时不用).

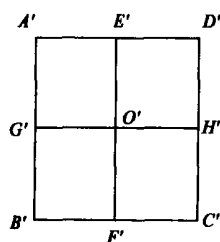


图 1 正方形模板平面

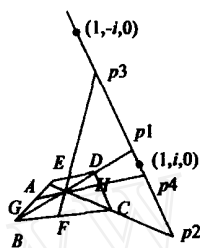


图 2 模板平面的像

由高等几何的摄影理论, 容易证明一条线段被它的中点和这直线上无穷远点调和分离^[6]. 根据这一结论, 图 2 中假设 P_1, P_2 分别是线段 BD, AC 上无穷远点的像点, P_3, P_4 分别是线段 FE, GH 上无穷远点的像点, 且 O 是模板中 O 的像点, 由摄像机的透视变换的同位素对应和保交比不变的性质, 可得:

$$\begin{aligned} (BD, OP_1) &= -1, (AC, OP_2) = -1, \\ (FE, OP_3) &= -1, (GH, OP_4) = -1 \end{aligned} \quad (1)$$

另外, 由高等几何中拉盖尔定理的推论^[6], 即两条直线垂直的充分必要条件是这两直线上的无穷远点与两圆环点调和共轭, 可知 P_1, P_2 与两个圆环点调和共轭, P_3, P_4 与两个圆环点也调和共轭. 设 P_1, P_2, P_3, P_4 的坐标分别是 $(u_1, v_1), (u_2, v_2), (u_3, v_3)$ 和 (u_4, v_4) , 并设两个圆环点 l, n 的像坐标分别是:

$$\begin{aligned} C_l &= (x_1 + ix_2, y_1 + iy_2, 1)^T, \\ C_n &= (x_1 - ix_2, y_1 - iy_2, 1)^T \end{aligned}$$

由上述可知 P_1, P_2 与 C_l, C_n 调和共轭, P_3, P_4 与 C_l, C_n 也分别调和共轭, 可得 $(P_1 P_2, C_l C_n) = -1$ $(P_3 P_4, C_l C_n) = -1$ 把上述 P_1, P_2, P_3, P_4 的坐标代入并化简, 便可得 C_l, C_n 的两组可能的解 C_l 和 C_n ^[5]

在图 2 中, 设 A, B, C, D, E, F, G, H 和 O 点的坐标为 $(u_A, v_A), (u_B, v_B), (u_C, v_C), (u_D, v_D), (u_E, v_E), (u_F, v_F), (u_G, v_G), (u_H, v_H)$ 和 (u_O, v_O) . 则由 (1) 得:

$$\begin{aligned} u_1 &= \frac{uO * (uB + uD) - 2 * uD * uB}{(2 uO - uB - uD)}, \\ v_1 &= \frac{vO * (vB + vD) - 2 * vD * vB}{(2 vO - vB - vD)}, \\ u_2 &= \frac{uO * (uA + uC) - 2 * uC * uA}{(2 uO - uA - uC)}, \\ v_2 &= \frac{vO * (vA + vC) - 2 * vC * vA}{(2 vO - vA - vC)}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_2 &= \frac{vO * (vA + vC) - 2 * vC * vA}{(2 vO - vA - vC)}, \\ u_3 &= \frac{uO * (uE + uF) - 2 * uE * uF}{(2 uO - uE - uF)}, \\ v_3 &= \frac{vO * (vE + vF) - 2 * vE * vF}{(2 vO - vE - vF)}, \\ u_4 &= \frac{uO * (uG + uH) - 2 * uG * uH}{(2 uO - uG - uH)}, \\ v_4 &= \frac{vO * (vG + vH) - 2 * vG * vH}{(2 vO - vG - vH)}, \end{aligned} \quad (2)$$

在模板的图像上检测出点 A, B, C, D, E, F, G, H 和 O 点的坐标, 代入上式 (2) 求出 P_1, P_2, P_3 和 P_4 的坐标, 再将它们的坐标代入 C_l 和 C_n 从而可以解出两个圆环点的像坐标^[5].

2.3 确定摄像机的内部参数

经上述过程可得两个圆环点的像坐标 C_l, C_n , 由于 C_l, C_n 满足二次曲线的方程, 即

$$C_l^T K^{-T} K^{-1} C_l = 0 \quad C_n^T K^{-T} K^{-1} C_n = 0 \quad (3)$$

假设 $C = K^T K^{-1} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{12} & C_{22} & C_{23} \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} \end{bmatrix}$, 把它代入式 (3), 由其实部和虚部分别为 0, 确定两个独立的约束. 再利用摄像机在三个不同的方位 (R_i, t_i) ($i = 1, 2, 3$) 获得三幅模板图像, 假设其所对应圆环点的像分别为 C_l^i 和 C_n^i ($i = 1, 2, 3$), 便可确定 6 个方程 (式 (4)), 从而可以确定 C 矩阵, 由于 $C = K^T K^{-1}$, 再利用乔里斯基 (Cholesky) 分解^[5], 可以唯一得到 K^{-1} , 便可得到内部参数矩阵 K .

$$\begin{cases} \operatorname{Re}(C_l^i{}^T C C_l^i) = 0, \operatorname{Im}(C_l^i{}^T C C_l^i) = 0 \\ \operatorname{Re}(C_n^i{}^T C C_n^i) = 0, \operatorname{Im}(C_n^i{}^T C C_n^i) = 0 \end{cases} \quad i = 1, 2, 3 \quad (4)$$

2.4 摄像机外部参数的确定

(1) 利用场景中的平面信息计算单应性矩阵 H

令 $m = (u, v, 1)$, $m' = (u', v', 1)$ 是平面 Π 上的点 X 在 two 幅图像上的对应点的像素坐标, 则存在单应性矩阵 H , 使得 $sm' = Hm$, s 为比例因子.

$$\text{假设 } H = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ h_7 & h_8 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{v1} & h_{v2} & h_{v3} \end{bmatrix}, \text{ 写成向量形}$$

式 $h = (h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, h_6, h_7, h_8)^T$, 给出一对匹配点, 便可以得到关于 h 的两个线性方程:

$$\begin{aligned} (u, v, 1, 0, 0, 0, u' u', v') h &= u' \\ (0, 0, 0, u, v, 1, v' u', v') h &= v' \end{aligned}$$

选取 4 对平面的匹配点, 可线性求解单应性矩阵 H ^[7].

(2) 利用单应性矩阵 H 和摄像机的内部参数矩阵 K 计算摄像机的外部参数

假设物体位于世界坐标系的 $Z = 0$ 处, 摄像机的运动为 (R, t) , 可得:

$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix}$$

平面场景的单应性矩阵 H 和摄像机的内部参数矩阵 K 的关

系为 $H = K \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & 1 \end{bmatrix}$, 可见 $\begin{bmatrix} h_{v1} & h_{v2} & h_{v3} \end{bmatrix} = \lambda K \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & 1 \end{bmatrix}$, 在摄像机内部参数已经标定的情况下, 外部参数可计算为^[8], $r_1 = \lambda K^{-1} h_{v1}$, $r_2 = \lambda K^{-1} h_{v2}$, $r_3 = r_1 \times r_2$, $t = \lambda K^{-1} h_{v3}$ ($\lambda = 1 / \sqrt{K^{-1} h_{v1} \cdot K^{-1} h_{v2}}$)

2.5 退化情形

对摄像机标定过程中, 退化的第一种情形为模板平面与图像平面平行, 这时, 像平面的 E 、 F 、 G 、 H 和 O 分别成为其所在的中点, (2) 中出现无解现象, 无法确定圆环点的像; 退化的第二种情形为模板平面与图像平面不平行, 而图像平面的 u 或 v 轴与正方形模板的任意一边平行或垂直, 此无法确定圆环点的像; 退化的第三种情形为图像平面的 u 或 v 轴与模板中正方形的对角线平行, 此时 O 成为其所在的线段的中点, 同样 (2) 中出现无解现象, 从而无法确定圆环点的像。

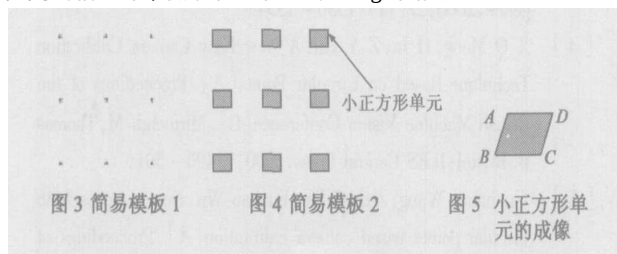
在标定实验中, 为了避免退化现象的产生, 可以采取以下两种方法: 第一种方法是采样时使得相机成像平面与模板平面成一定的角度, 同时, 避免图像平面的 u 或 v 轴与模板中正方形的对角线平行; 第二种方法是进行多次采样, 在出现退化的样本时进行抛弃的方法。所以, 退化现象是完全可以解决和避免的, 这说明本文的方法是很实用的。

2.6 模板图像的角点提取方法

利用摄像机在不同的几个 (至少 3 个) 方位拍摄图像后, 重要的一步就是对图像的角点 A 、 B 、 C 、 D 、 E 、 F 、 G 、 H 和 O 进行提取, 目前角点的提取出现了一些新方法^[9], 我们采用了以下两种方法进行角点提取。

(1) 第一种角点提取方法——简易模板法

为了能够方便地进行标定, 我们采用了两种简易模板的形式 (如图 3 和 4), 采用模板 1 时, 若摄像机的位置距离物体较远时, 模板的图像呈现出九个点, 处理时可以直接采用点的提取方法进行; 若采用模板 2 进行标定时, 每个顶点可以扩成一个正方形单元, 其成像如图 5 所示。模板上所对应的角点坐标可由 A 、 B 、 C 和 D 的坐标近似求得。若 A 、 B 、 C 和 D 成像区域的边界为 $[\text{mincol}, \text{maxcol}]$ 及 $[\text{minrow}, \text{maxrow}]$, 因为正方形单元很小, 所以模板上所对应的角点像坐标近似为 $((\text{mincol} + \text{maxcol})/2, (\text{minrow} + \text{maxrow})/2)$ 。采用简易模板法提取角点的优点是方法简单, 避免了采用传统角点提取方法的复杂性, 但这种方法适用于模板平面上噪声低的情况, 在噪声水平很高的情况下, 最好采用下述的 Hough 变换法。



(2) 第二种角点提取方法——Hough 变换法

利用 Hough 变换进行提取角点时, 我们采用图 1 所示的模板进行研究, 根据 Hough 变换的原理, 对图像空间的所有点进行变换, 求出其所对应的 Hough 空间的 (ρ, θ) , 对相同 (ρ, θ) 的点的个数进行累计, 累计数值较大的图像点, 可能位于同

一条直线上。利用该方法提取角点的主要优点是它具有抗噪声的特点, 当噪声水平级很高时, 仍能获得较满意的结果。

2.7 算法的时间复杂度与性能

本文所研究的标定方法具有较低的时间复杂度, 如果把一次加法或乘法运算作为基本运算, 那么无穷远点的像点 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 的计算中执行 168 次基本运算, 求取 C_i 、 C_n 时运算 108 次基本运算, 求取 C 矩阵时运算 216 次运算基本运算, 所以标定一次要进行约 492 次基本运算, 即是常量阶的时间复杂度; 但由于误差等原因, 常进行多次实验, 若进行 100 次实验, 基本运算次数仅为 49200 次, 即使这样时间复杂度也是很低的。

文献[4]中作者利用圆的图像与无穷远直线的像的交点求取圆环点的像, 由于圆心的像点估计是利用代价函数进行的, 所以, 无穷远直线的像求取中存在着一定误差, 假设[4]中的标定误差为 $E = E_0 + E_1$, 其中 E_0 表示圆周上直径端点的提取误差, E_1 表示无穷远直线的拟合误差, 而本文的算法研究中, 误差 $E' = E_0$, 由于 E' 远远地小于 E , 这说明本文的研究中包含较小的误差, 即误差中仅包括点的提取误差, 所以具有更好的标定性能; 而文献[5]的研究中, 由于矩形边缘的提取以及直线的拟合同样也可以带来一定的误差, 而本文的研究中由于避免了直线的拟合问题, 所以具有更准确的特性。

3 实验

3.1 模拟数据实验

在模拟实验中, 我们分别采用了图 4 和图 1 所示的两种模板分别进行标定研究, 采用图 4 所示模板时, 拍摄三幅图像, 图像的分辨率是 568×332 , 角点的提取利用 2.6 所述的方法。小正方形单元的大小为 3×3 , 两个小正方形单元间的距离为 20 个像素, 表 1 给出了 20 次实验的标定参数平均值。模拟实验的另一部分是采用图 1 所示的正方形模板进行标定, 为了对结果进行比较, 摄像机的内外部参数设置与文献 5 中的模拟实验设置相同, 即内部参数为 $f_u = 1300$, $f_v = 1200$, $u_0 = 512$, $v_0 = 384$, $s = 0$, 拍摄的图像如图 6 所示, 在该部分研究中, 角点的提取采用了 Hough 变换的方法进行的。无噪声时内部参数的标定结果如表 2 所示, 标定结果与真实值非常接近; 另外, 我们采用不同水平级的高斯噪声 (噪声均方差 σ 由 0 变化到 2.0) 进行实验, 得到了在不同水平级条件下内部参数的绝对误差随噪声变化的曲线 (图 7 所示)。图 7 所示结果与文献 5 的方法比较可知, 当噪声级别较低时 (噪声均方差小于 1.0), 两种方法标定的结果相差不大, 当噪声级别较高时 (噪声均方差大于 1.0 而小于 2.0 时), 本文方法标定的绝对误差大小略小于文献 5 的结果, 这表明该方法具有较好的鲁棒性。

本文的方法与文献[3]的经典方法进行比较: 将摄像机的内外参数设置相同的情况下, 取图 1 的模板中的正方形各个顶点、各边的中点及对角线的交点, 以及 OC' 、 OA' 、 OB 和 OD 的中点作为标定点列, 噪声级别分别设定为 1.5 和 4.5 进行实验, 当噪声级别为 1.5 时, 本文与文献[3]中方法标定的 f_u 的相对误差分别为 0.95% 和 0.87%, f_v 的相对误差分别为 0.78% 和 0.86%; 当噪声级别为 4.5 时, 本文与文献[3]中

方法标定的 f_u 的相对误差分别为 2.21 % 和 8.37 %, f_v 的相对误差分别为 2.46 % 和 9.76 %, 可见, 当噪声水平较低时, 两种方法标定结果相差不大, 而当噪声水平较高时, 本文方法的标定结果的相对误差较小, 从而说明本文方法的优越性。

图 6 模拟实验拍摄的两幅图像

图 8 两幅摄像机拍摄的图像

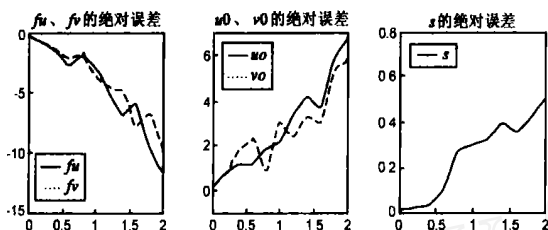


图 7 不同噪声水平下内部参数的绝对误差

表 1 采用简易模板二摄像机内部参数的标定结果

f_u	f_v	u_0
132.1159	141.9189	283.9634
v_0	s	
165.9874	0.0078	

表 2 模拟图像摄像机内部参数的标定结果

f_u	f_v	u_0
1299.6573	1199.7028	512.1135
v_0	s	
384.1645	0.0163	

3.2 真实图像实验

我们在真实图像的实验中, 利用柯达 DC260 型数码相机, 对图 1 所示的实际模板进行拍摄, 模板是边长为 11cm 的正方形, 我们拍摄了不同方位的 6 幅图像 (如图 8 所示), 图像的分辨率为 1024×1536 。利用它们分成两组, 分别做 20 次实验, 然后求得两组结果的平均值。表 3 给出了摄像机内部参数的结果。

表 3 真实图像摄像机内部参数的标定结果

f_u	f_v	u_0
2560.2528	2229.2630	414.8728
v_0	s	
930.4318	49.8381	

表 4 摄像机外部参数标定结果

r_1	r_2	r_3	t
-0.310541	0.017607	0.000033	43.507806
-0.453335	0.022453	-0.000003	-160.674828
0.835215	-0.047709	0.020742	555.075836

为了验证该标定方法的有效性, 我们利用真实数据的标定结果, 采用立体视觉的方法来重建三维场景。使用前面已标定的数码相机, 拍摄魔方 (近似的标定块) 的两幅图像 (如图 9 所示)。首先, 利用 2.4 节所提出的方法, 求取了两幅图像中摄像机所对应的外部参数, 进行了 20 次实验, 表 4 为所得到的旋转向量及平移向量的均值。然后, 在每幅图像利用手工选取 18 个点进行重构, 图 10 显示出了重构的结果, 从图中可以看出, 每个面上的点确实是共面, 可见重建结果很符合实际的,

进一步说明了本文提出的方法的正确性及有效性。



图 9 数码相机拍摄的重建对象的两幅图像

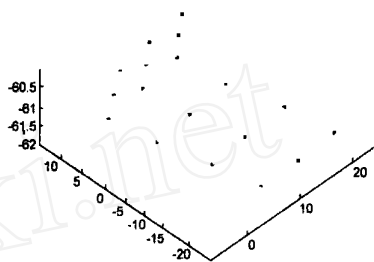


图 10 利用标定的摄像机重构的结果

4 小结

本文在关于圆环点标定相关研究的基础上, 提出了一种新的利用圆环点标定的简单方法。该方法只需要利用正方形模板在不同方位拍摄三幅图像, 便可标定出摄像机的全部内外部参数。该方法与原有方法相比具有以下特点: 不需进行三维空间点与二维图像点的匹配、也不需要模板的制作过程中对圆心的精确定位, 同时也避免了多个矩形的边缘检测和直线拟合所带来的误差, 模拟实验与真实实验证明了该方法具有简单、方便和鲁棒性强等特点, 是一种有效的标定方法。

参考文献:

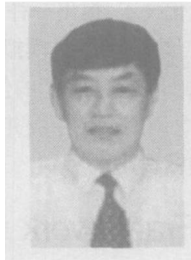
- [1] 邱茂林, 马颂德, 李毅. 计算机视觉中摄像机定标综述[J]. 自动化学报, 2000, 26(1): 43 - 55.
- [2] 马颂德, 张正友. 计算机视觉——计算理论与算法基础[M]. 科学出版社, 1998.
- [3] Zhang Z. A flexible new technique for camera calibration[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(11): 1330 - 1334.
- [4] X Q Meng, H Li, Z Y Hu. A New Easy Camera Calibration Technique Based on Circular Points[A]. Proceedings of the British Machine Vision Conference[C]. Mirmehdi M, Thomas B, Bristol: ILES Central Press, 2000, 9: 496 - 501.
- [5] Guanghui Wang, Zhanyi Hu, Fuchao Wu. Novel approach to circular points based camera calibration[A]. Proceedings of the 2nd International Conference of Image and Graphics[C]. Wei Sui, Hefei: 2002, 8: 830 - 837.
- [6] 梅向明, 刘增贤, 王汇淳, 王智秋. 高等几何 (第二版) [M]. 高等教育出版社, 1998.
- [7] 雷成, 吴福朝, 胡占义. Kruppa 方程与摄像机自定标

- [J]. 自动化学报, 2001, 27(5): 621 - 630.
- [8] Arne Henrichsen. 3D Reconstruction and Camera Calibration from 2D Images [D]. University of Cape Town, Africa, Cape Town, (Submitted to the Department of Electrical Engineering in fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science in Engineering at the UNIVERSITY OF CAPE TOWN), December 2000. 1 - 109.
- [9] Fei Shen, Han Wang. Real Time Gray Level Corner Detector [A]. In Proc. 6th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision [C]. Singapore, 2000, 12: 885 - 891.

作者简介:



全红艳 女, 1968 年生, 1994 年毕业于哈尔滨理工大学计算机科学系, 获工学硕士学位, 现为哈尔滨工业大学计算机科学与技术专业博士生, 研究方向为计算机视觉、虚拟现实及基于图像绘制. E-mail: qhy11704@sohu.com.



张田文 1940 年生, 现为哈尔滨工业大学计算机科学与技术专业, 教授, 博士生导师, 现主要从事图像处理、模式识别、计算机视觉、虚拟现实及基于图像绘制方面的研究.

www.cnki.net