

一种有效的基于消失点的摄像机自标定方法

蒋中强^{1,2,3}, 胡 栋^{1,2,3}

- (1. 江苏省图像处理与图像通信重点实验室, 江苏 南京 210003;
2. 教育部宽带无线通信与传感网技术重点实验室, 江苏 南京 210003;
3. 南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京 210003)

摘 要:文中提出了一种有效的基于消失点的摄像机自标定方法。为了使用较少幅图像获得有效的消失点估计,文中首先选择合适的角度在不同位置拍摄若干幅图像,然后使用 J-linkage 和 LMedS 的算法检测每幅图像中在场景内两个正交的平行线段组,再使用 MLE 最优化方法求取消失点,任意选择四对正交消失点标定摄像机内参。为了减少消失点估计误差对标定摄像机参数精度的影响,文中进一步引入附有参数的条件平差方法,调整参数的估计值,提高摄像机内参的精度。实验采用真实环境中的图片,实验结果表明只要 6 幅图像就可以得到摄像机准确的内参,具有较好的精度和稳定性,说明文中标定方法是有效的。

关键词:摄像机标定;J-linkage;消失点;最大似然估计;最小平方中值

中图分类号:TP301

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2014)09-0054-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.09.012

An Effective Camera Self-calibration Method Based on Vanishing Points

JIANG Zhong-qiang^{1,2,3}, HU Dong^{1,2,3}

(1. Jiangsu Province's Key Lab of Image Processing and Image Communications,
Nanjing 210003, China;

2. Education Ministry's Key Lab of Broadband Wireless Communication and Sensor Network
Technology, Nanjing 210003, China;

3. Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: An effective camera self-calibration method based on the vanishing points is proposed in this paper. In order to calculate the effective vanishing points with less images, firstly, several images are taken in different locations with proper angles, two classes of orthogonal line segments, where in the line segments are parallel with each other in the 3D space, are detected based on the methods of J-linkage and LMedS from the images. Secondly, the vanishing points are obtained with MLE, and four pairs of orthogonal vanishing points are selected to calibrate the camera's intrinsic parameters. Finally, in order to reduce the influence of the errors of the vanishing points, the method of condition adjustment with parameters is introduced to improve the accuracy of the camera's intrinsic parameters. The experiments are conducted under real conditions, the results show good precision and stability of the calculated intrinsic parameters using six images, that proves the effectiveness of the proposed calibration method.

Key words: camera calibration; J-linkage; vanishing point; MLE; LMedS

0 引 言

在计算机视觉中,摄像机标定在由图像坐标恢复的三维坐标上具有至关重要的作用。摄像机标定主要有三类标定方法^[1-3]:传统标定方法、基于主动视觉的标定方法和自标定方法。其中自标定的方法是使用图

像点间的对应关系对摄像机进行标定,无须场景中点的三维信息,因此比较灵活、方便。利用消失点标定摄像机^[4-5]是自标定方法的一种。由于实际环境中随处可见具有相互垂直的线段和结构对象,如:楼房、地砖等,这为利用消失点进行摄像机标定提供了便利。

收稿日期:2013-10-18

修回日期:2014-01-21

网络出版时间:2014-05-21

基金项目:江苏省高校自然科学重大基础研究项目基金(10KJA510036);江苏省高等教育优势学科发展计划项目(信息与通信工程)

作者简介:蒋中强(1987-),男,硕士研究生,研究方向为图像处理与多媒体通信;胡 栋,博士,教授,研究方向为图像与视频处理、分析与传输。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140524.2150.037.html>

近年来,关于消失点检测和利用消失点标定摄像机的研究受到了人们的关注。Toldo 和 Fusiello 提出了一种聚类线段的多实例稳健估计方法-J-linkage^[6]; Tardif^[7]在此基础上提出了一种快速估计消失点的方法,利用 J-linkage 对场景中相互平行的线段进行检测和聚类,再使用检测的线段求消失点;Zhang 等^[8]在交通场景中对行人和车辆使用改进的选举的方法对检测的线段求消失点,并利用一幅图像中三对正交方向的消失点对摄像机标定。但是在实际环境中,由一幅图像获得三个正交方向的消失点对场景要求比较苛刻,这对后续的标定精度会产生不利的影响。通常,从一幅图像中获取两个正交方向的消失点相对容易,据此 Xu 等^[9]提出了一种鲁棒的标定算法。首先在仿真环境中拍摄几十幅图像,求取每一幅图像中在三维空间内两个正交的平行线段组对应的消失点,并用 RANSAC 算法对所有图像求得的消失点进行鲁棒性估计,选择含有最大数目有效消失点对所对应的四对正交方向的消失点对摄像机内参进行标定。但是该方法在用较少幅图像时效果很差,而且没有给出实际环境中检测消失点对摄像机进行标定的结果。

因为检测消失点的精度与摄像机的拍照角度有关,为了利用较少幅图像对摄像机内参进行有效估计,文中提出了一个新的标定算法。首先从拍摄图像的角度出发,控制摄像机在一定角度范围内拍摄若干幅图像;然后利用 J-linkage 和 LMedS 的方法对图像的线段进行鲁棒性检测,选择合适的检测线段;再使用 MLE 最优化算法求取每幅图像中的一对正交消失点。在用消失点标定计算摄像机内参时,首先任取 4 幅图像的消失点对计算内参的初始值,然后使用附有参数的条件平差的方法计算内参的调整量,从而减少消失点误差对摄像机内参精度的影响,实现对摄像机内参精度的改进。

1 基于消失点的摄像机标定基本原理

摄像机采用针孔模型,如图 1 所示。空间 3D 点到图像平面 2D 点的投影变换是线性的,假设 X' 为空间 3D 点, x' 为图像平面的 2D 点,变换关系为:

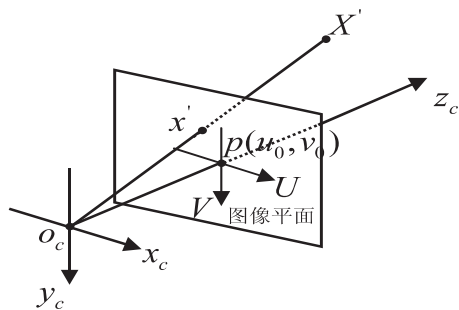


图1 摄像机针孔模型

$$\alpha x' = K[R | t] X' \quad (1)$$

其中, α 为尺度因子(非不变因子); K 为摄像机内参矩阵; R 为 3×3 摄像机的旋转矩阵; t 为摄像机的平移向量,文中只标定摄像机内部参数矩阵 K 。

假设图像平面两轴是相互垂直的,所以摄像机内

$$\text{参矩阵 } K \text{ 为四参数模型,即 } K = \begin{bmatrix} f_u & 0 & u_0 \\ 0 & f_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, f_u \text{ 和 } f_v$$

分别表示图像平面 u 和 v 方向的焦距,单位是像素, $p(u_0, v_0)$ 为主点坐标。

在欧式空间中,相互平行的直线永不相交,但在射影空间中相互平行的直线相交于无穷远处,交点在图像平面的投影点即为消失点。假设在 3D 空间中有两组正交且每一组都平行的线段,它们的无穷远点设为 $P_{1\infty}$ 和 $P_{2\infty}$,并且在图像平面相应的消失点为 p_1 和 p_2 ,由针孔摄像机模型,无穷远点和相应消失点的关系为^[10-11]:

$$\begin{cases} \alpha_1 p_1 = K[R | t] P_{1\infty} \\ \alpha_2 p_2 = K[R | t] P_{2\infty} \end{cases} \quad (2)$$

因为光心与消失点的连线与形成该消失点的空间平行线是平行的,所以光心与射影空间中两个无穷远点的连线是正交的,由正交关系可以得到:

$$\begin{aligned} p_1^T K^{-T} K^{-1} p_2 &= \alpha_1 p_{1\infty}^T [R | t]^T \alpha_2 [R | t] p_{2\infty} = \\ \alpha_1 \alpha_2 p_{1\infty}^T p_{2\infty} &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

其中, $K^{-T} K^{-1} =$

$$\begin{bmatrix} 1/f_u^2 & 0 & -u_0/f_u^2 \\ 0 & 1/f_v^2 & -v_0/f_v^2 \\ -u_0/f_u^2 & -v_0/f_v^2 & u_0^2/f_u^2 + v_0^2/f_v^2 + 1 \end{bmatrix}。 \text{ 因为 } K \text{ 中含}$$

有四个未知数,一对正交消失点只可以求解一个参数,故至少需要四对正交方向的消失点才可以求出这四个未知数,所以标定摄像机至少需要四幅图像。

2 摄像机内参的求解算法

由于噪声影响,利用检测线段估计消失点时,当两条在空间中相互平行的线段在图像平面上夹角接近 90 度时^[12],估计的消失点精度最高,所以文中在拍摄图像时,摄像机光轴与所拍物体平面保持有一定夹角,尽量使图像中属于同一消失点的线段的夹角足够大。摄像机在不同的位置拍摄若干幅图像后,采用 J-linkage 和 LMedS 的方法检测图像中在三维空间中相互正交的平行线段组,再利用最大似然估计(MLE)^[13]由检测的线段求得消失点对。根据式(3)的消失点对约束关系,使用 4 幅图像就可以得到需要标定的 4 个内参,但因为检测的消失点存在误差,为了准确而且稳定地标定摄像机内参,文中引入一种使用附有参数的条件

平差的方法,适当增加 1-2 幅拍摄图像,对摄像机内参精度进行改进。

2.1 检测消失点

文中采用 J-linkage 方法对图像中在空间里相互正交的两组线段进行聚类。该方法在聚类线段上具有很好的效果,而且不需要知道图像中存在的消失点的个数,可以对图像中在三维空间中相互平行的每一类线段进行同时聚类。线段聚类后,用 MLE 最优化方法得到聚类的内部交点,即估计的消失点。

由于拍摄图像中噪声、成像畸变、检测误差等因素的影响,利用 J-linkage 方法从图像中检测出来的属于同一消失点的线段所在的直线不可能完全交于一点,而且有的线段误差较大。文中在用 MLE 求取消失点前,先使用 LMedS 鲁棒性算法对 J-linkage 检测的每一组线段进行鲁棒性估计。具体方法是:首先确定随机抽取线段子样本的次数 M ,对于每次抽样得到的线段子样本求其消失点;然后计算该消失点到所有线段所在直线的距离平方作为残差平方,记录每个子样本的残差平方中值,取 M 个子样本中最小的残差中值和对应的消失点;最后利用得到的最小残差中值计算每条线段的权值将误差较大的线段剔除掉,再使用剩余的线段计算得到最优消失点。

2.2 摄像机内参求解算法

当求得图像中正交方向的消失点后,即可使用消失点对摄像机内参进行标定。假设从拍摄的多幅图像中任取四幅计算消失点,同一幅图像中的正交消失点对分别为 $\mathbf{vp}_i = (u_i, v_i)$ 和 $\mathbf{vp}_j = (u_j, v_j)$,其中 $i = (1, 3, \dots, 2n-1)$, $j = (2, 4, \dots, 2n)$,带入式(3),并将得到的四个式子两两相减得:

$$(u_3 + u_4 - u_1 - u_2)u_0 + (v_3 + v_4 - v_1 - v_2)\frac{f_u^2}{f_v^2}v_0 + (v_1v_2 - v_3v_4)\frac{f_u^2}{f_v^2} = u_3u_4 - u_1u_2 \quad (4)$$

$$(u_5 + u_6 - u_3 - u_4)u_0 + (v_5 + v_6 - v_3 - v_4)\frac{f_u^2}{f_v^2}v_0 + (v_3v_4 - v_5v_6)\frac{f_u^2}{f_v^2} = u_5u_6 - u_3u_4 \quad (5)$$

$$(u_7 + u_8 - u_5 - u_6)u_0 + (v_7 + v_8 - v_5 - v_6)\frac{f_u^2}{f_v^2}v_0 + (v_5v_6 - v_7v_8)\frac{f_u^2}{f_v^2} = u_7u_8 - u_5u_6 \quad (6)$$

由式(4)~式(6)可以线性求出 u_0 、 $\frac{f_u^2}{f_v^2}v_0$ 和 $\frac{f_u^2}{f_v^2}$,还可以得到 v_0 ,再结合消失点对带入式(3)得到的式子,可以求得 f_u 和 f_v ,即可得到摄像机四个内部参数 f_u 、 f_v 、 u_0 和 v_0 。

为减少消失点估计值误差对标定摄像机内参的影响,文中使用附有参数的条件平差^[14]的方法对摄像机内参进行标定。假设拍摄 n 幅图像,总的正交消失点对观测数为 n ,那么可以列的条件方程数为 $c = n$ 。设每一幅图像中检测到的两个正交的消失点为 $\mathbf{vp}_i = (u_i, v_i)$ 和 $\mathbf{vp}_j = (u_j, v_j)$,真实消失点坐标为 $\mathbf{vp}_i' = (u_i', v_i')$, $\mathbf{vp}_j' = (u_j', v_j')$,其中 $i = (1, 3, \dots, 2n-1)$, $j = (2, 4, \dots, 2n)$ 。理想情况下由式(3)可以得出:

$$(u_i' - u_0')(u_j' - u_0')f_v'^2 + (v_i' - v_0')(v_j' - v_0')f_u'^2 + f_v'^2 f_u'^2 = 0 \quad (7)$$

式中, $u_i' = u_i + \Delta u_i$, $v_i' = v_i + \Delta v_i$, $u_j' = u_j + \Delta u_j$, $v_j' = v_j + \Delta v_j$, $f_u' = f_u + \Delta f_u$, $f_v' = f_v + \Delta f_v$, $u_0' = u_0 + \Delta u_0$, $v_0' = v_0 + \Delta v_0$; f_u 、 f_v 、 u_0 、 v_0 为任意选取四幅图像的正交消失点对求取的摄像机内部参数。

由于式(7)是非线性的,利用泰勒级数展开进行线性化后得到:

$$(u_j - u_0)f_v^2\Delta u_i + (v_j - v_0)f_u^2\Delta v_i + (u_i - u_0)f_v^2\Delta u_j + (v_i - v_0)f_u^2\Delta v_j + 2f_u[(v_i - v_0)(v_j - v_0) + f_v^2]\Delta f_u + 2f_v[(u_i - u_0)(u_j - u_0) + f_u^2]\Delta f_v + (2u_0 - u_i - u_j)f_v^2\Delta u_0 + (2v_0 - v_i - v_j)f_u^2\Delta v_0 + d_0 = 0 \quad (8)$$

式中, $d_0 = (u_i - u_0)(u_j - u_0)f_v^2 + (v_i - v_0)(v_j - v_0)f_u^2 + f_u^2 f_v^2$,由剩余图像的消失点对根据式(8)和摄像机内参与图像消失点的关系整理后可以列出矩阵方程:

$$\mathbf{A}_{c \times 4c} \mathbf{V}_{4c \times 1} + \mathbf{B}_{c \times 4} \hat{\mathbf{x}}_{4 \times 1} + \mathbf{W}_{c \times 1} = 0 \quad (9)$$

式中, $\mathbf{V} = [\Delta u_i \quad \Delta v_i \quad \Delta u_j \quad \Delta v_j]^T$ 为观测向量; $\hat{\mathbf{x}} = [\Delta f_u \quad \Delta f_v \quad \Delta u_0 \quad \Delta v_0]^T$ 为未知参数的改正数; \mathbf{A} 和 \mathbf{B} 分别为观测向量和未知参数改正数的系数矩阵; \mathbf{W} 为 d_0 组成的闭合差。

式(9)即为附有参数的条件平差模型,假设权矩阵为单位矩阵,其解为:

$$\hat{\mathbf{x}} = -\mathbf{N}_{bb}^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{N}_{aa}^{-1} \mathbf{W} \quad (10)$$

式中, $\mathbf{N}_{aa} = \mathbf{A} \mathbf{A}^T$; $\mathbf{N}_{bb} = \mathbf{B}^T \mathbf{N}_{aa}^{-1} \mathbf{B}$,记初值 $\mathbf{X} = [f_u \quad f_v \quad u_0 \quad v_0]^T$,最后得到平差后的摄像机内部参数为:

$$\hat{\mathbf{X}} = \mathbf{X} + \hat{\mathbf{x}} \quad (11)$$

3 实验结果分析

为了验证算法的有效性,利用 SONY NEX6 相机对标定板和具有正交结构的建筑物拍摄图像进行实验验证。每幅图大小为 $2448 * 1624$,相机自身参数默认主点为 $u_0 = 1224$, $v_0 = 812$,此时相机焦距约为 $f = 16$ mm,传感器尺寸为 $23.5 \text{ mm} * 15.6 \text{ mm}$, $d_x = 23.5 /$

$2\,448=0.009\,599\,7, d_y=15.6/1\,624=0.009\,606$, 则 $f_x=f/d_x=1\,666.72, f_y=f/d_y=1\,665.64$ 。

按照文中拍摄图像的方法,用同一相机使用同样参数拍摄多幅标定板和室外建筑物图像,各取1幅利用J-linkage检测线段后如图2和图3所示。因为实验所用相机内部参数没有经过精确的标定,而Zhang的^[15]传统标定方法具有很好的精度,所以文中用Zhang的方法对相机进行标定作为参考。在表1中,Xu表示文献[9]中方法使用20幅图像标定的结果;JL+MLE是J-linkage后使用最大似然估计,这种方法在文献[7]中作为其快速算法的性能比较对象,这里表示利用四幅图像标定摄像机内参的结果;JL+LMeLE表示文中引入LMedS求消失点使用同样四幅图像标定的结果; X_i 表示在利用JL+LMeLE求消失点标定结果的基础上,当 $i>4$ 时增加 $(i-4)$ 幅图像使用平差方法标定的结果。最终得到的各种方法的标定结果如表1和表2所示,表3和表4表示摄像机内参初值较准确时利用文中平差方法改进精度的结果。

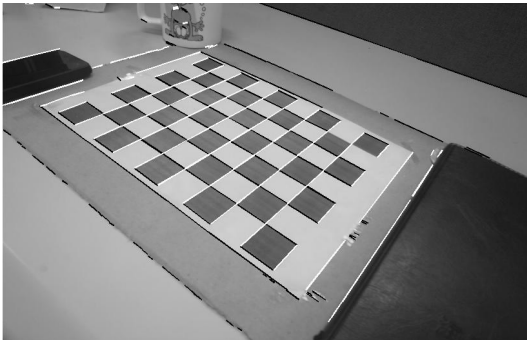


图2 J-linkage检测后的室内标定板图像



图3 J-linkage检测线段后的室外建筑图像

使用标定板图像标定摄像机时,由表1可知,相对于Zhang的标定结果,JL+LMeLE的标定结果比JL+MLE的结果较好,说明文中鲁棒性估计线段对消失点的精度是有提升的,但是它们的结果中 f_x, f_y 的标准误差接近5%, u_0 的标准误差接近10%。从 X_5 中看出,加一幅图像平差后的标定结果对参数精度有所提升,继续增加图像后,由 X_6, X_7 和 X_8 的标定结果可以看到标定精度逐渐趋于平稳,使得各参数的误差都在3%以内,而且 X_6 标定结果的精度与Xu的标定精度差不多。

在表3中对较准确的初值用文中平差的方法改进精度,可以看到对精度影响不大,不会因为初值准确经过平差后精度变差。使用室外建筑物图像标定摄像机时,由表2可以看出,相对于Zhang和Xu的标定结果,JL+LMeLE的标定结果比JL+MLE的稍微好一点,说明了LMedS鲁棒性估计线段是有效的。 X_6, X_7 和 X_8 使用文中标定方法标定的结果比JL+LMeLE的结果要精确得多,而且与Xu标定结果精度接近。同样表4中使用较好的摄像机内参初值,并不会因为使用文中平差的标定方法精度变差。

表1 使用标定板图像标定结果比较

方法	f_x	f_y	u_0	v_0
Zhang	1 642.74	1 632.32	1 222.82	814.31
Xu	1 625.24	1 619.02	1 249.37	787.8
JL+MLE	1 554.37	1 574.12	1 330.48	910.31
JL+LMeLE	1 561.33	1 587.28	1 321.51	898.27
X_5	1 625.51	1 635.14	1 273.23	828.41
X_6	1 627.38	1 634.57	1 243.17	820.07
X_7	1 636.43	1 639.21	1 250.63	804.46
X_8	1 636.41	1 638.84	1 247.57	802.97

表2 使用室外建筑物图像标定结果比较

方法	f_x	f_y	u_0	v_0
Xu	1 631.42	1 624.38	1 234.54	803.21
JL+MLE	1 682.63	1 684.82	1 227.14	753.40
JL+LMeLE	1 675.57	1 681.43	1 218.47	755.31
X_5	1 672.51	1 672.34	1 223.62	755.00
X_6	1 643.14	1 640.72	1 229.24	785.40
X_7	1 626.43	1 626.64	1 234.52	789.17
X_8	1 626.64	1 627.42	1 235.74	789.72

表3 使用较好初值时平差的结果比较(标定板图像)

方法	f_x	f_y	u_0	v_0
JL+MLE	1 658.73	1 632.69	1 255.52	795.45
JL+LMeLE	1 653.41	1 625.31	1 244.24	799.78
X_5	1 649.78	1 622.43	1 242.37	806.48
X_6	1 640.04	1 613.24	1 245.72	809.28
X_7	1 628.13	1 609.05	1 231.24	827.72
X_8	1 619.91	1 607.93	1 238.41	811.56

表4 使用较好初值时平差的结果比较(建筑物图像)

方法	f_x	f_y	u_0	v_0
JL+MLE	1 627.84	1 610.39	1 268.44	823.21
JL+LMeLE	1 631.84	1 619.66	1 256.15	816.45
X_5	1 637.15	1 627.51	1 247.14	806.27
X_6	1 631.18	1 618.14	1 253.41	814.79
X_7	1 641.24	1 631.82	1 247.86	803.27
X_8	1 647.02	1 635.71	1 248.14	802.12

综上所述,按照文中提出的方法,通过控制拍摄角度,使用6幅标定板或室外建筑物图像标定摄像机内

参,就可以获得较好的精度和稳定性。

4 结束语

文中提出了一种基于消失点的利用较少幅图像有效标定摄像机的自标定方法。首先选择合适的角度在不同的位置拍摄 4 幅以上图像,然后利用 J-linkage 和 LMedS 的方法检测图像中在空间里两个正交的平行线段组,再使用鲁棒性估计的线段利用 MLE 最优化算法求取每幅图像中的正交消失点,先任选四幅图像的正交消失点对求取摄像机内参,然后使用附有参数的条件平差模型改进摄像机内部参数的精度。实验结果表明,只要使用 6 幅图像即可以得到准确稳定的标定结果。所以文中方法具有较好的精度和稳定性,可以在实际应用中使用。

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] 孟晓桥,胡占义. 摄像机自标定方法的研究与进展[J]. 自动化学报,2003,29(1):110-124.
- [3] 张铨伟,王彪,徐贵力. 摄像机标定方法研究[J]. 计算机技术与发展,2010,20(11):174-179.
- [4] Caprile B,Torre V. Using vanishing points for camera calibration[J]. International Journal of Computer Vision,1990,4(2):127-139.
- [5] 胡培成,黎宁,赵亮亮. 一种新的基于消失点的摄像机标定方法[C]//第十三届全国图像图形会议. 出版地不详:出版者不详,2006:1-4.
- [6] Toldo R,Fusiello A. Robust multiple structures estimation with

j-linkage[C]//Proc of 10th European conference on computer vision. [s.l.]:[s.n.],2008:537-547.

- [7] Tardif J P. Non-iterative approach for fast and accurate vanishing point detection[C]//Proc of IEEE 12th international conference on computer vision. Kyoto: IEEE,2009:1250-1257.
- [8] Zhang Zhaoxiang,Li Min,Huang Kaiqi,et al. Practical camera auto-calibration based on object appearance and motion for traffic scene visual surveillance[C]//Proc of IEEE conference on computer vision and pattern recognition. Anchorage, AK:IEEE,2008:1-8.
- [9] Xu Xiaoquan,Xia Junying,Xiong Jiulong,et al. Robust camera calibration with vanishing points[C]//Proc of 2012 5th international congress on image and signal processing. Chongqing: IEEE,2012:931-935.
- [10] 赵为民,唐俊. 利用图像中的消失点描述平面直线关系[J]. 微机发展(现更名:计算机技术与发展),2003,13(1):16-17.
- [11] He B W,Li Y F. Camera calibration from vanishing points in a vision system[J]. Optics & Laser Technology,2008,40(3):555-561.
- [12] 谢文寒,张祖勋. 基于多像灭点的相机定标[J]. 测绘学报,2004,33(4):335-340.
- [13] Liebowitz D. Camera calibration and reconstruction of geometry from images[D]. Oxford:University of Oxford,2001.
- [14] 武汉大学测绘学院测量平差学科组. 误差理论与测量平差基础[M]. 武汉:武汉大学出版社,2003.
- [15] Zhang Zhengyou. A flexible new technique for camera calibration[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2000,22(11):1330-1334.


(上接第 53 页)

- 科技资讯,2009(12):235-237.
- [2] 王宏. 解读美军的“打击重心”思想[J]. 现代军事,2004(2):67-68.
- [3] 朱延广,朱一凡. 基于影响网络的联合火力打击目标选择方法研究[J]. 军事运筹与系统工程,2010,24(3):65-69.
- [4] 刘伟娜,霍利民,张立国. 贝叶斯网络精确推理算法的研究[J]. 微计算机信息,2006,22(3-3):92-94.
- [5] 王华伟,周经伦,何祖玉,等. 基于贝叶斯网络的复杂系统故障诊断[J]. 计算机集成制造系统,2004,10(2):230-234.
- [6] Pearl J F. Fusion,propagation and structuring in belief networks[J]. Artificial Intelligence,1986,29(3):241-288.
- [7] 厉海涛,金光,周经伦,等. 贝叶斯网络推理算法综述[J]. 系统工程与电子技术,2008,30(5):935-939.
- [8] 胡玉胜,涂序彦,崔晓瑜,等. 基于贝叶斯网络的不确定性知识的推理方法[J]. 计算机集成制造系统,2001,7(12):

65-68.

- [9] 余东峰,孙兆林. 基于贝叶斯网络不确定推理的研究[J]. 微型电脑应用,2004,20(8):6-8.
- [10] Lauritzen S L,Spiegelhalter D J. Local computations with probabilities on graphical structures and their applications to expert systems[J]. Journal of the Royal Statistical Society,1988,50:157-224.
- [11] 樊宁. 贝叶斯网络推理算法研究[J]. 信息技术,2011(2):90-92.
- [12] 胡春玲,胡学钢,姚宏亮. 改进的基于邻接树的贝叶斯网络推理算法[J]. 模式识别与人工智能,2011,24(6):846-855.
- [13] Shenoy P P,Shafer G. Axioms for probability and belief-function propagation[J]. Uncertainty in AI,1990,4:169-198.
- [14] Jensen F V,Lauritzen S,Olesen K. Bayesian updating in causal probabilistic networks by local computation[J]. Computational Statistics Quarterly,1990,4:269-282.

一种有效的基于消失点的摄像机自标定方法

作者:	蒋中强, 胡栋, JIANG Zhong-qiang, HU Dong
作者单位:	江苏省图像处理与图像通信重点实验室, 江苏 南京 210003; 教育部宽带无线通信与传感网技术重点实验室, 江苏 南京 210003; 南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京 210003
刊名:	计算机技术与发展 
英文刊名:	Computer Technology and Development
年, 卷(期):	2014 (9)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjtz201409012.aspx