

多几何特征约束的单幅图像相机自标定方法

王美珍, 刘学军*, 卢 玥, 刘 丹

(南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室, 南京 210046)

摘要: 目前, 图像获取设备及方式呈现多样化趋势, 获取的图像数量、重叠度等不完全具备传统摄影测量方法应用的需求。若要获取图像中包含的丰富场景几何信息, 就需要发展依赖图像刻画内容的相机自标定方法, 建立起图像与现实场景之间的桥梁。故此, 本文提出了利用单幅图像中几何约束条件的相机自标定方法, 并顾及多个几何特征约束, 根据方差合理地为其设定不同的权重, 以提高相机的标定精度。本文总结了现有现实场景中几何特征及可由其求解而得的相应不变量, 以及几何特征对相机内参的约束关系。在对图像刻画场景中多个平面及几何特征进行编码的基础上, 利用不同组合的几何约束条件求解相机内参, 根据多次提取每一种几何特征组合求解内参的方差确定本次计算内参所占权重, 综合每一组几何特征所确定的内参及其权重综合计算最终的相机内参值, 从而实现多几何约束相机自标定方法。通过室内外场景验证测试, 结果证明, 本方法具有可用性、便捷性和较好的鲁棒性。

关键词: 自标定; 单幅图像; 多几何特征约束; 不变量; 几何特征

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2012.00644

1 引言

相机标定是从二维图像获取三维空间信息的关键问题, 一直是摄影测量学、计算机视觉等领域的重要命题之一。目前, 相机标定方法大都受到数据源数量等约束的限制, 多需两张以上图像, 或是需进行图像之间的匹配, 或需控制相机做特殊运动, 尽管也有不需要图像匹配的方法简化了计算过程, 但此方法要求在图像拍摄时相机的内参不发生变化^[1-4]。目前, 也有部分针对单幅图像的相机标定方法, 但多针对在拍摄场景中放置标定物的情况, 这就使得很多不包含人工标定物体的图像无法进行标定。随着拍摄设备与网络等的普及, 图像呈现多样化趋势, 图像一般不包含人工标定物体, 图像数量少, 并且极有可能图像之间无法匹配, 并且无法获取相机运动情况, 因此, 急需一种不依赖于图像数量、不需要图像匹配, 仅仅依赖图像本身拍摄内容的相机自标定方法, 若能发展一种仅依赖单

幅图像的相机标定方法, 则可突破图像数量的限制。

目前, 存在的单幅图像相机自标定方法, 从所采用的几何特征角度看, 主要包括平行线组、圆形、矩形、正方形、六面体、圆柱、直角等几何特征组合^[5-12]; 从计算过程中运用的不变量角度看, 主要包括灭点、灭线^[13]、虚圆点、绝对二次曲线^[14]等; 从方法原理角度看, 主要有三个互相垂直方向灭点的标定方法^[13]、虚圆点的方法^[14]等。现有的相机自标定方法主要关注方法的可用性, 所使用的几何特征多为满足标定的必要条件, 然而场景中通常是多类几何条件并存的, 如果能够对这些组合几何条件加以利用, 不仅可充分利用图像中各种特征, 更重要的是可提高标定方法的鲁棒性。

本文首先总结自标定算法的约束条件, 分析几何特征、不变量与相机内参之间的关系, 讨论了单幅图像多约束条件下的自标定方法; 然后, 通过实验数据测试分析证实方法的可用性。

收稿日期: 2012-04-10; **修回日期:** 2012-09-17.

基金项目: 国家支撑计划项目(2012BAH35B02); 江苏省高校自然科学重大基础研究项目(10KJA420025); 江苏省测绘科研项目(JSCHKY201204)。

作者简介: 王美珍(1983-), 女, 江苏淮安人, 博士, 讲师, 主要研究方向为影视 GIS、单像解析等。

E-mail: wangmeizhen@njnu.edu.cn

*** 通讯作者:** 刘学军(1965-), 男, 陕西合阳人, 博士, 教授, 主要研究方向为 DEM 不确定性分析、影视 GIS 等。

E-mail: liuxuejun@njnu.edu.cn

2 自标定算法约束条件的分析

2.1 摄像机的标定矩阵

图像点坐标 (x, y) , 记为符号 p , 用齐次坐标可表示 $p = [x, y, 1]^T$, 同样对应的三维空间点坐标为 (x, y, z) , 记为符号 P , 用齐次坐标可表示 $P = [x, y, z, 1]^T$, 假定相机采用针孔模型, 则空间点 P 与图像点 p 之间的关联关系可用公式(1)来表示

$$\lambda p = K[Rt]P \quad (1)$$

其中, λ 为非零尺度因子, R, t 是相机坐标系相对世界坐标系的旋转矩阵与平移向量, K 称为相机内参数矩阵, 也叫相机标定矩阵, 定义为 $K =$

$$\begin{bmatrix} f_u & s & u_0 \\ & f_v & v_0 \\ & & 1 \end{bmatrix}, (f_u \text{ 和 } f_v \text{ 是焦距 } f \text{ 的像元表示, 等}$$

于相机的实际焦距乘以图像坐标上单位距离的像元个数, s 为倾斜因子, u_0, v_0 为摄像机主点坐标)。通常像元纵横比为1时, 纵横方向上单位距离像元个数一样, 故 $f_u = f_v$, 得到相机的四参数模型, $K =$

$$\begin{bmatrix} f & s & u_0 \\ & f & v_0 \\ & & 1 \end{bmatrix}, \text{若同时忽略倾斜因子时, 得到相机的}$$

$$\text{简化 3 参数模型, } K = \begin{bmatrix} f & 0 & u_0 \\ & f & v_0 \\ & & 1 \end{bmatrix}。 \text{假设像元纵横}$$

比为1, 只有一个焦距的单参数模型 $K =$

$$\begin{bmatrix} f & 0 & 0 \\ & f & 0 \\ & & 1 \end{bmatrix}。 \text{不同的参数模型根据实际标定的需}$$

要来决定。摄像机标定时除了考虑主点坐标、焦距、倾斜因子等参数, 还应该考虑透镜畸变所造成成像坐标的偏差(包括透镜的径向畸变、切向畸变), 在对相机参数进行标定之前, 应该对图像进行畸变纠正。通常径向畸变要比切向畸变大得多, 因此, 对于大多数应用, 切向畸变基本可以忽略, 本文主要考虑的是径向畸变。

2.2 几何特征对相机内参数的约束

现有相机标定研究中, 针对3参数相机模型, 主要利用3个互相垂直方向的灭点, 根据拉盖尔定理进行相机标定。绝对二次曲线通过分解可获得相机内参, 而一组互相垂直的灭点则提供一个对绝

对二次曲线的约束, 一组共轭圆环点则提供两个对绝对二次曲线的约束, 因此, 可根据这些不变量对相机内参提供约束来求解相机内参。不同的相机模型其标定的基本过程、过程中涉及的不变量, 以及可能几何特征如图1所示。由图1可知, 一般建筑物室内外场景多包含互相垂直的平面, 可用于三参数相机模型的标定, 在稍微复杂的场景中, 可满足四参数相机模型的标定, 而满足五参数相机模型标定的场景则最为复杂, 一般, 较多见于为标定而特意设定的场景。

3 单幅图像多约束条件下自标定方法

相机的内部参数中, 图像主点位置与倾斜因子在每一次的成像过程中一般不发生变化, 而焦距则不同, 现有的成像设备一般都可任意调节焦距, 因此, 焦距在标定过程中是至关重要的因子。然而, 通过单一几何约束信息求解出的焦距误差较大, 故本文利用图像中与相机内参有关的各种几何特征, 重点求解相机的焦距, 以提高相机标定的精度。

3.1 平面与几何特征编码

不同的几何特征要依赖不同的平面, 平面之间的关系往往确定平面中直线、圆形等几何特征的关系, 同时, 本文所针对标定图像主要描述自然场景, 而非在图像中放置标定模板, 自然场景中的平面之间多存在垂直或者平行的关系, 本节将为图像定义编码, 以便后续相机焦距的计算。

(1) 几何特征编码

可用于相机标定的几何特征有很多, 最为常见的有互相垂直的平行线组、矩形(包括正方形)、圆形等二维信息, 这些信息必然在某个平面上。带中点的线段(或者已经长度比的共线线段)是一维信息, 理论上也可用于相机标定, 但由于在现实场景中, 不易获得长度比, 一般利用较少。

在这些几何特征中, 平行线组、矩形、正方形等主要用来求解互相垂直的灭点, 同一方向上的平行线交于同一灭点, 无论这些互相平行的直线/线段位于哪个平面, 因此, 此类信息主要描述其方向, 而圆形主要通过求解两个圆形的虚交点来求解圆环点, 且平行平面上的圆相交也可以得到虚圆点, 因此, 圆形几何特征主要描述其是否在同一平面或者两个平行平面中。本小节将几何特征, 以及所附着

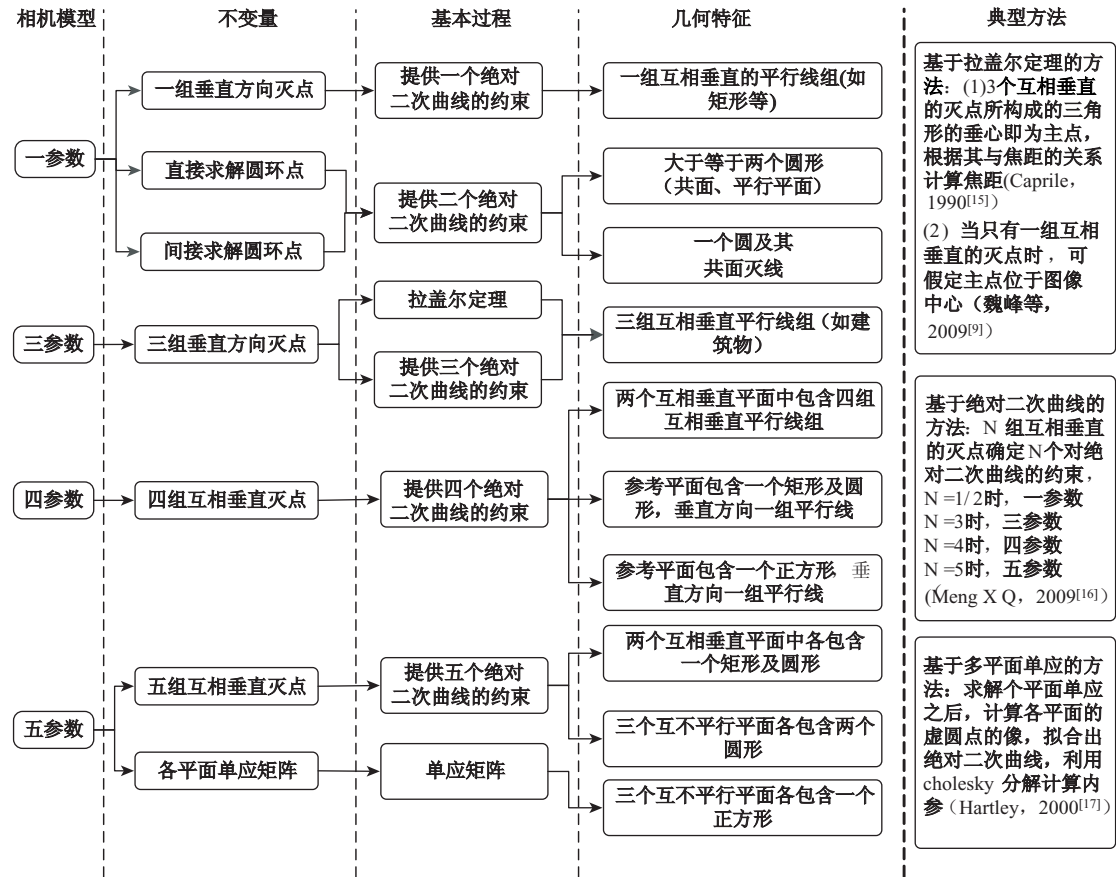


图1 相机内参数求解涉及的不变量及其几何约束

Fig. 1 Invariants and corresponding geometric constraints for camera calibration

平面进行编码,一般编码为: * * X * * A #####, 如表1所示。说明如下:

表1 几何特征编码

Tab. 1 Encoded mode for geometric information

* *	X	* *	A	#####
-----	---	-----	---	-------

① 前两个星号表示当前几何特征编号;

② 中间两个星号表示当前几何特征所在平面编号;

③ ‘X’表示几何特征的类型,为C时,表示圆形(Circle);为S时,表示正方形(Square);为R时,表示矩形(Rectangle);为L时,表示平行线(Parallel lines);为M时,表示带中点的线段(Midline)等;

④ ‘A’为标记位,表示后续的#####内容为描述当前几何特征的代数表达。

(2) 平面编码

由于用于计算相机内参的几何特征首先位于某一平面,然后再由平面构成整个三维空间,相机

标定的过程即如此,首先确定某一平面内多个几何特征之间的关系,然后再确定不同平面之间几何特征的关系,进而进行相机标定。本小节将多平面上的几何特征,以及平面之间的关系进行统一编码,一般编码表2所示:

表2 平面平行关系及其关系编码

Tab. 2 Encoded mode for relationships between planes

* *	PP	Num	* *	OP	Num	* *
-----	----	-----	-----	----	-----	-----

① 前两个星号表示当前平面编号,从01计数;

② 第一个Num表示与当前平面平行的平面的个数,若有,则后续依次为各个平面编号,若无则没有;

③ 第二个Num表示与当前平面垂直的平面的个数,若有,则后续依次为各个平面编号,若无则没有;

④ ‘PP’ ‘OP’为标记符号,用于分隔各个平面编号。

(3) 编码关联关系

图像中几何特征编码主要描述几何特征所属于的类型、所属平面及其几何表达等,而平面编码则描述平面之间的关系(在本文中只对包含几何特征的平面进行编码,其他平面忽略),两者之间通过平面编码进行关联。

在对平面及其几何特征编码之后,可根据几何特征所附属的平面之间的垂直、平行等关系,推演几何特征之间的关系,进而获得可用于相机内参计算的不变量。

由于在三维空间中,平面平行关系可以传递,且平行平面与其他平面之间的垂直关系同样也可以传递,但平面之间的垂直关系却无法传递,因此,同一个平面同时垂直多个平面,假设记作 P_1 、 P_2 ,那么还需要讨论 P_1 与 P_2 之间的关系,对所有平面关系进行进一步补充。

3.2 不同平面上几何特征之间关系

图 1 中描述了几何特征对相机参数求解的约束,可通过在图像中选用几何特征,如同一个平面/平行平面上多个圆形、单个正方形、单个矩形、两组矩形边不平行的两个矩形、平行线组(除正方形和矩形之外),以及带中点的线段;互相垂直平面上的两个平行线组等。计算互相垂直灭点/虚圆点,然后进行相机标定。因此,几何特征选择的总体原则为:找出可用于计算互相垂直灭点/虚圆点的几何特征。

单个平面/多个平行平面上,单个正方形可产生 2 个垂直方向上的灭点,一个为一组对边所产生的互相垂直的灭点,另一个为其对角线所构成的互相垂直的灭点;单个矩形可产生 2 个互相垂直灭点;边不平行双矩形组可以产生 2 组垂直方向上的灭点;平行线组可以产生一个灭点;垂直平行线组可以产生 2 个垂直方向上的灭点;带中点的线段可以产生一个灭点;2 个圆形可确定 2 个虚圆点。不同方向上获得的至少 2 个灭点可确定平面/平行平面的灭线。

垂直平面之间,主要通过平面之间的垂直关系来推演互相垂直平面上灭点的垂直关系,实际上主要是垂直方向与平面之间的垂直关系,由于 2 条不平行直线确定一个平面,因此,尽管平面上无数条直线,但只能确定 2 组互相垂直的灭点。

3.3 多几何特征约束综合运用

由于不同几何特征提取时产生的误差,不同原理计算获得的计算结果存在差异,其解算结果对相机标定的影响必然存在差异,因此,本文在最后内参数结果综合时,为其确定不同的权重。

方差描述的是一个随机变量的离散程度,也就是该变量离其期望值的距离,因此,本文合理认为,针对同一算法,多次提取几何特征,在此基础上计算的结果方差越小,表明相机标定参数越精确,应占最终结果较大权重,反之亦然。所以,根据计算结果方差为对应结果分配相应比例的权重。

对于单幅图像,根据可用的多个几何条件组合计算相机参数,本文主要关注相机的焦距 f 。设几何条件组合个数为 N ,分别提取多次计算实验得到平均值,并求解对应方差的 D_i , W_i 对应的权重,其中, $i=1, 2 \cdots N$ 。每一组方差与权重的乘积相等,且其和为 1,权重确定用公式(2)表示如下:

$$\begin{cases} D_i * W_i = D_{i+1} * W_{i+1} \\ \sum_{i=1}^N W_i = 1 \end{cases} \quad (2)$$

每个组合的权重确定之后,根据每组数据计算出焦距的平均值,记作 f_i ,乘上所占权重为 W_i ,最终,根据公式(3),计算加权之后的优化焦距 f 。

$$f = \sum_{i=1}^N W_i * f_i \quad (3)$$

本文认为当一组计算的方差较大时,说明利用此组几何特征所计算的相机内参的值相对比较分散,但若所计算的内参值均匀地分布在“真值”周围,那么其所计算的结果也是可用的,故即使其方差很大,本文也将其作为一组约束参与到最终的内参计算,只是为其分配的权重较小,这样既考虑此组几何特征的可用性也考虑其不稳定性。

3.4 多几何特征约束下相机标定方法过程

根据上文描述,多几何特征约束下的相机标定方法过程如下:

(1)提取图像中的几何特征,并对平面、几何特征进行编码;

(2)利用平面之间的几何关系,求解用于相机解算的不变量;

(3)根据不同的几何特征组合求解相机内参,具体参见图 1 中典型方法一栏;

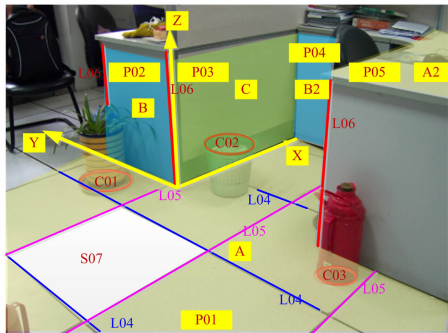
(4)综合以上各算法所得结果,利用公式(2)计算各个焦距的权重;

(5)根据每组几何特征的权重及其焦距,利用公式(3)计算最终的结果。

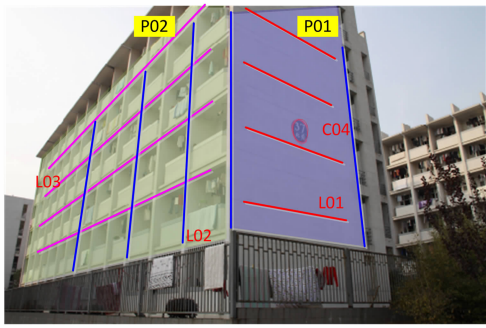
4 相机标定实验与结果分析

4.1 实验数据

本文实验包含 2 幅普通非量测相机拍摄的近景图像,如图 2 所示,图像刻画结构化场景,包含多组可用于相机标定的几何特征,其中图 2(a)为室内



(a) 室内场景
indoor scene



(b) 室外场景
outdoor scene mainly with building

图 2 测试图
Fig. 2 test images

表 3 真实场景实验数据
Tab. 3 Information of images

图像名称	(a)室内场景	(b)室外场景
相机型号	Kodak V603	CANON EOS 50D
mm 焦距(图像属性显示)	6mm	18mm
传感器尺寸	5. 59 * 4. 32mm	22. 3 * 14. 9mm
图像像素	1000 * 750	1000 * 667
相机的标定焦距 f_x	1073. 4 像元	810. 2 像元
相机的标定焦距 f_y	1041. 7 像元	805. 3 像元
相机的平均标定焦距 f	1057. 5 像元	807. 8 像元
横向像元/mm 单位比 dx	178. 90	45. 01
纵向像元/mm 单位比 dy	173. 61	44. 73

表 4 一阶径向畸变纠正
Tab. 4 Result of radial distortioncorrect

图像名称	计算结果均值	方差
室内场景	$2. 80e^{-8}$	$2. 98e^{-16}$
室外场景	$2. 06e^{-8}$	$3. 50e^{-16}$

4.2 室内实验图像测试结果

室内场景相较于室外场景,无处不包含人造物体,人造物体具有形状规则等特点,通常包含大量平行线,以及圆形等可用于标定的几何特征,图 2

图像,图 2(b)为室外图像,图片的相关信息如表 3 所示。

在进行相机参数的标定之前,先利用以数位的相机径向畸变参数算法对图像进行畸变纠正^[18],在此只校正一阶径向畸变。针对每幅图像,分别取二十组直线目标进行解算,分别得到两幅图像的一阶径向畸变均值、方差,如表 4 所示。根据解算结果对图像进行畸变校正,在此基础进行相机内参的解算。

(a)图像中所包含的平面与几何特征的编码,及其编码之间的关系,如图 3 所示。

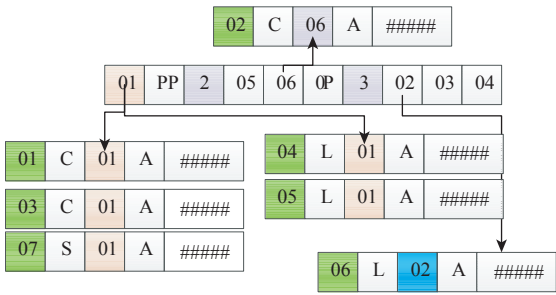


图 3 室内图像中各种编码之间的关系

Fig. 3 Relationships between two kinds of encoded modes for Fig. 2(a)

根据多几何特征约束方法,本测试图解算过程中涉及的几何特征、所用原理、对应的焦距所占权重等中间结果如表 5 所示。

与相机的标定焦距 $f=1057.5$ 像元相比,图 2(a)实际计算结果为 1080.7 像元,本文的方法所得出的标定结果的相对误差值为 2.2%。

4.3 室外实验图像测试结果

室外场景较大,因此,刻画室外场景的图像通

常包含结构化物体都较大,如建筑物,其结构化信息不如室内场景那么多,但也有足够多的几何特征可用于相机参数的解算,图 4 中主要平面及其平面上的几何特征信息已经标示在图像上。

表 5 室内实验数据解算结果
Tab. 5 Camera calibration of image of indoor scene

几何约束组合	基本原理	方差 (D_i)	焦距权重 (W_i)	焦距(f_i)
三组互相垂直灭				
L04、L05、L06	点,基于拉盖尔定理理解三参数	$D_0=1719$	$W_0=0.23$	$f_0=1047.2$
C01、C02	计算虚圆点	$D_1=1628$	$W_1=0.24$	$f_1=1065.1$
C01、C03	同上	$D_2=2927$	$W_2=0.13$	$f_2=1163.9$
C02、C03	同上	$D_3=8845$	$W_3=0.04$	$f_3=1062.0$
C01、L04、L05	同上	$D_4=3029$	$W_4=0.13$	$f_4=1076.7$
C02、L04、L05	同上	$D_5=5132$	$W_5=0.08$	$f_5=1103.1$
C03、L04、L05	同上	$D_6=4490$	$W_6=0.09$	$f_6=1069.4$
S07、L04、L05	同上	$D_7=6028$	$W_7=0.06$	$f_7=1108.8$
$f=1080.7$ 像元				

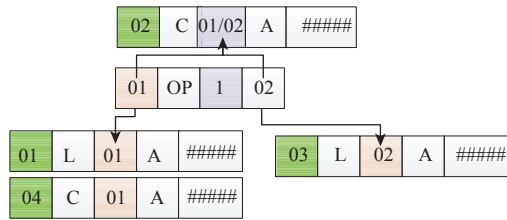


图 4 室外图像中各种编码之间的关系

Fig. 4 Relationships between two kinds of encoded modes for Fig. 2(b)

根据多几何特征约束方法,解算过程中涉及的几何特征、所用原理、对应的焦距所占权重等中间结果如表 6 所示。

表 6 室外实验数据解算结果
Tab. 6 Camera calibration of image of outdoor scene

几何约束组合	基本原理	方差 (D_i)	焦距权重 (W_i)	焦距 (f_i)
利用三组互相垂				
L01、L02、L03	直灭点,基于拉盖尔定理求解三参数(f, u_0, v_0)	$D_0=1933$	$W_0=0.42$	$f_0=805.9$
C04、L01、L02	计算虚圆点	$D_1=1418$	$W_1=0.58$	$f_1=813.2$
$f=810.1$ 像元				

本文计算焦距为 810.1 像元,对比相机的标定

焦距 $f=807.8$ 像元,本文的方法所得出的标定结果相对误差值约为 0.3%。

4.4 实验结果分析

4.4.1 理论角度

(1) 内参计算方法:本文实验主要选用了两种内参计算方法,一是利用三个互相垂直的灭点根据拉盖尔定理求解相机的焦距和主点位置,另外一个则是利用一组虚圆点计算相机的焦距,此方法应用的前提是假定相机内参位于图像中心,因此,若主点位于图像中心或附近,则此方法获得的焦距离真值较近,反之则偏差较大。

(2) 几何特征分布:本文所选用的几何特征主要包括直线、椭圆,若图像的畸变未得到纠正时,几何特征分布影响其提取的精度,靠近图像中心的几何特征精度相对较高,主要是由于靠近图像中成像效果较好,相对畸变较小。在理论中,若图像的畸变得到纠正,那么计算结果的精度与几何特征的分布无关,只和几何特征提取精度以及计算方法有关。

(3) 几何特征提取精度:考虑到计算方法误差追根溯源还是来自几何特征提取误差,而针对实际成像,几何特征提取的精度本身无法量化,只能体现在最终的计算结果上,因此,本文以最终结果的方差确定本组几何特征的权重,在理论上具有合理性。

(4) 加权平均方法:方差说明本次几何特征用于计算内参时,本组计算内参的稳定性,其并不能完全保证其计算结果的完全“正确性”,根据每组几何特征计算结果的方差所确定的权重以及所计算的内参共同计算而获得最终结果,既考虑了每组几何特征的“稳定性”,也考虑了每组几何特征组的“可用性”。

4.4.2 实验角度

图 2 中利用各组几何特征计算的焦距 f_i (其中 $i=1,2\cdots N$)、加权计算后的焦距 f 、相机本身提供的相机焦距 f_t ,如图 5 所示,图 5(a)为图 2(a)的各个值的对比柱状图,图 5(b)为图 2(b)的各个值的对比柱状图,两个柱状图的纵坐标单位都为像元。

室内外真实的测试图像所得焦距计算结果:加权后的计算值相对于真实值,其相对误差较小,室内图像相对误差为 2.2%,而其每组几何特征提取所计算内参的误差最大为 10.1%,最小为 0.4%,

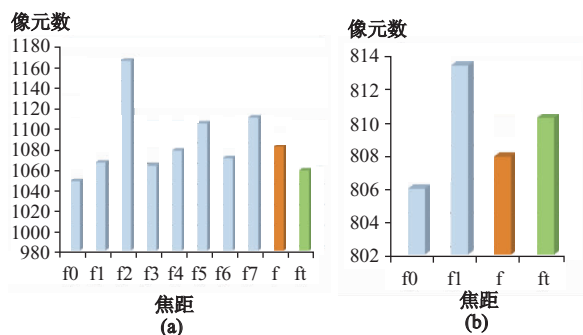


图5 对比柱状图

Fig. 5 Histogram of focal lengths for Fig. 2(a) and 2(b)

平均相对误差为 2.8%。室外图像相对误差为 0.3%，而两组几何特征所计算内参的误差分别为 0.2% 和 0.7%，平均相对误差为 0.45%。实验结果表明：

(1) 从统计角度上更为稳定，通常较为接近真实值，可避免使用某一组几何特征而造成结果误差偏大（尽管可能存在某一组几何特征的计算精度比多约束的精度高的情况），表明了方法的稳定性。

(2) 选用了多组几何特征分别计算的焦距的相对误差的平均值均大于加权后的相对误差，说明加权之后计算结果的精度更高，表明了方法的可用性。

综上所述，本文方法能够充分利用多组几何特征，同时顾及其对结果影响，选用加权平均的方法计算相机焦距，理论与实验都说明了本文方法的可用性及稳定性，能够获得高精度的标定结果。

5 结论与展望

本文首先总结相机标定与图像中包含的几何特征及其对应的不变量之间的关系，然后将场景中的结构化信息，根据其不同几何模型、所在的不同平面进行了分类与编码，通过对不同组几何特征根据其最终的计算结果对其进行加权，提出一种结合多种几何特征的单幅图像多约束标定算法。理论及测试结果都表明，本文的顾及多组几何特征的加权平均方法，可获得较高精度的计算结果，方法具有可用性和稳定性，适合于包含大量几何特征的图像。

本文算法的核心是多组几何特征的加权平均，而前提是判断多个几何特征之间的关系，即几何特征是否共面、平行、垂直等，在此基础上多可能的组

合进行相机参数解算，目前，几何特征提取及几何特征关系确定为半自动方式，下一步拟结合图像分割、对象识别、聚类等技术，减少用户交互，使得这个标定过程对用户“透明”，从而实现多约束下“一键式”标定。

参考文献：

- [1] 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.
- [2] Zhao Z, Liu Y and Zhang Z. Camera calibration with three non-collinear points under special motions [J]. IEEE Trans. Image Process, 2008, 17(12): 2393 - 2402.
- [3] Hong W, Yang Y A, Huang K and Ma Y. On symmetry and multiple-view geometry: Structure, pose, and calibration from a single image[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(3): 241 - 265.
- [4] Wu Y H, Li X J, Wu F C, Hu Z Y. Coplanar circles, quasi-affine invariance and calibration[J]. Image and Vision Computing, 2006, 24: 319 - 326.
- [5] Wang G, Tsui H T, Hu Z and Wu F. Camera calibration and 3D reconstruction from a single view based on scene constraints[J]. Image and Vision Computing, 2005, 23(3): 311 - 323.
- [6] 吴福朝, 王光辉, 胡占义. 由矩形确定摄像机内参数与位置的线性方法[J]. 软件学报, 2003, 14(3): 703 - 712.
- [7] 段福庆, 吴福朝, 胡占义. 基于平行性约束的摄像机标定与 3D 重构[J]. 软件学报, 2007, 18(6): 1350 - 1360.
- [8] 邱卫国, 昂海松. 基于单张平行六面体照片的摄像机标定方法[J]. 传感器技术, 2005, 24(6): 85 - 88.
- [9] 魏峰, 王小林. 采用单幅圆柱体图像的摄像机标定[J]. 工程图学学报, 2009, (1): 109 - 113.
- [10] Miyagawa I, Arai H, Koike H. Simple camera calibration from a single image using five points on two orthogonal 1 - D Objects[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2010, 19(6): 1528 - 1538.
- [11] Chen Y S, Ip H, Huang Z J, et al. Full camera calibration from a single view of planar scene. //Bebis B et al. (Eds.). ISVC 2008, Part I, LNCS 5358, 2008: 815 - 824.
- [12] Kim J S, Gurdjos P and Kweon I S. Geometric and algebraic constraints of projected concentric circles and their applications to camera calibration[J]. IEEE PAMI, 2005, 27(4): 637 - 642.
- [13] Zhong H, Mai F and Hung Y S. Camera calibration using circle and right angles[C]. //Proc. of ICPR'06, 2006): 646 - 649.
- [14] 谢文寒, 张祖勋, 张剑清. 一种新的基于灭点的相机标

- 定方法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2003, 35(11): 1384 - 1387, 1391.
- [15] Caprile B, Torre V. Using vanishing points for camera calibration[J]. *International Journal of Computer Vision*, 1990, 4(2): 127 - 140.
- [16] Meng X Q, Hu Z Y. A new easy camera calibration technique based on circular points[J]. *Pattern Recognition*, 2003, 36: 1155 - 1164.
- [17] Hartley R, Zisserman A. *Multiple view geometry in computer vision* [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2000.
- [18] 卢玥, 刘学军, 王美珍, 等. 基于数位的相机径向畸变参数计算[J]. *地理与地理信息科学*, 2011, 27(6): 18 - 22.

Camera Self-calibration Using Multiple Geometric Constraints in a Single Image

WANG Meizhen, LIU Xuejun, LU Yue and LIU Dan

(Key Laboratory of Virtual Geographic Environment, Ministry of Education, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

Abstract: Camera self-calibration is a key step to acquisition 3D space information from 2D image, and it is always one of the important issues in photogrammetry. However, present methods for camera self-calibration need two or more images and/or their corresponding points. With the development of digital devices for image taken and (wireless) network, a method not depending on digital device, images taken process, or multiple images, is badly needed. Consequently this paper presented a novel method that makes full use of various geometric constraints to realize reliable camera calibration for a single image. Firstly, this paper summarized various geometric constraints and invariants for the existing camera self-calibration method. Secondly, in order to build the relationships among geometric constraints for calibration, we coded for different planes and geometric features in an image. Because variance represents the error distribution, it can be considered as the determinant. In this paper, we obtained the variance of different combination of geometric features for camera calibration by means of fitting each groups of geometric features for thirty times, and then depended on the variance above to determine the weight of each camera's internal parameters. Finally, based on each camera's internal parameters, here we only focus on foci length, and their corresponding weights, the ultimate results are computed. Two images which depict inside and outside scene respectively were chosen to test the usability of our methods. In order to avoid the influence of image distortion, we corrected it using a method we proposed in another paper before tests. The test results show that: 1) the weighted method gave a more stable result, relative to the result of each group geometric constraints, that is one group's relative error is too high and in other may be lower; 2) the weighted method obtained a higher accuracy result than the mean of all groups. The results of verification testing for the two images of the indicated that our weighted method can comprehensive employs variety of geometric constraints in single image, in the other side, it also takes their corresponding variance into account. It makes full use of the variety, usability and stability of geometric constraints. It can be employed to images depict indoor and outdoor which contains more geometric constraints.

Key words: self-calibration; single image; multiple geometric constraints; invariant; geometric constraints