

基于线性特征的鱼眼图像校正方法

郭雄飞^{1,2} 鲁 斌² 李 庆² 薛晨阳¹

(中北大学电子与计算机科学技术学院 太原 030051)¹ (中科院微电子所昆山分所 昆山 215300)²

摘 要 针对鱼镜头采集的畸变图像,在棋盘格标定模板的基础上,提出一种有效的校正方法。该方法采用标准畸变模型,首先基于畸变图像的线性特征提出目标函数;然后利用 SUSAN 改进算法精确定位棋盘格角点坐标;对已得到的有限角点坐标进行畸变曲线拟合,在畸变曲线上提取所需数量的点;最后用渐近寻优算法计算最优畸变系数,使得目标函数最小。实验结果表明,该方法角点定位精确、算法时间复杂度低,能够有效校正鱼镜头造成的图像畸变。

关键词 畸变校正,曲线拟合,线性特征,渐近寻优

中图法分类号 TP391.4 文献标识码 A

Calibration Method Based on Linear Feature for Fisheye Image

GUO Xiong-fei^{1,2} LU Bin² LI Qing² XUE Chen-yang¹

(School of Electronics and Computer Science Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China)¹

(Institute of Microelectronics of Chinese Academy of Sciences, Kunshan department, Kunshan 215300, China)²

Abstract In order to calibrate the distorted image captured by fisheye cameras, this paper drew out a effective calibration method with the chessboard. Adopting standard distortion model, it firstly gets objective function on the basis of the linear feature, then detects accurately chessboard corners with a improved SUSAN algorithm. The next step it conducts curve fitting based on the previous corners. Finally the optimal distorted coefficients can be computed with progressive optimization algorithm so that objective function is minimal. Experiment results show that this method gets accurate corners coordinates, and has a low time complexity, moreover can calibrate effectively the distorted image because of fisheye lens.

Keywords Distortion calibration, Curve fitting, Linear feature, Progressive optimization

1 引言

鱼镜头以其超大视野范围(大约 180°)和高性价比的优势,在图像监控、虚拟现实、汽车全景融合等领域得到了广泛的应用,但是鱼镜头的成像过程存在一定程度的光学畸变,因此畸变图像校正就成为鱼镜头应用中必不可少的步骤。

鱼镜头畸变图像校正方法大致可以分为两类,第一类是基于标定模板的校正方法^[1-5]。其中基于棋盘格模板的方法中比较典型的有: Davide Scaramuzza 等^[1]提出的采用球面透视成像模型,利用 SVD 分解求解超定方程组以及旋转矩阵的正交性以计算畸变参数(包括内参和外参)的校正方法;张正友^[2]提出的根据单应矩阵自身特性,利用多幅图像初步计算相应旋转矩阵,然后用最大似然估计求解最优矩阵,最后考虑径向畸变影响的方法,该类方法已被广泛采用。第二类是不使用标定模板、基于图形几何性质的校正方法^[6-9]。其中比较典型的有: Moumen T. Ahmed 等^[6]提出的基于直线斜率和图像梯度的畸变校正方法。

第一类校正方法以一定的成像模型为基础,模型不同,校正方法也有差别,其中参数的计算过程涉及到超定方程的求

解,同时算法对标定模板的位置及角度都有限制。第二类校正方法需要特定算法检测几何图形,增加了方法步骤,点坐标的提取非常不方便。

在文献^[1]和文献^[2]的基础上,总结实践经验后,本文基于黑白棋盘格标定模板,采用标准畸变模型^[10],利用棋盘格在成像过程中线与点的几何关系,通过数学建模创新地提出了一种有效的校正方法。

2 鱼镜头畸变模型

与理想的小孔成像模型不同,鱼镜头通常是由多组光学镜片组合而成,成像过程非常复杂,整体上可以看作一个非线性成像系统。

鱼镜头非线性畸变主要分为径向畸变、离心畸变和薄棱镜畸变³类。其中,径向畸变和离心畸变被认为是最重要的两类畸变。

由于径向畸变又占主要,许多畸变模型就忽略了离心畸变对图像的影响。只考虑径向畸变,比较普遍的鱼镜头映射函数有:正投影函数 $R = f \sin(\theta)$ 、立体投影函数 $R = 2f \tan(\theta/2)$,其中 f 为镜头焦距, θ 为坐标点光轴的夹角。

本文受汽车移动物联网总体技术研究基金项目(2012ZX03005018),智能交通创新服务系统项目(XDA06040300)资助。

郭雄飞(1987-),男,硕士生,主要研究方向为图像处理, E-mail: liushui-fei@126.com; 鲁 斌(1988-),男,硕士,主要研究方向为图像处理; 李 庆(1972-),男,博士,副研究员,主要研究方向为图像处理; 薛晨阳(1971-),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为纳机电器件 MEMS 器件及系统。

本文考虑这两类畸变,畸变示意图如图 1 所示。

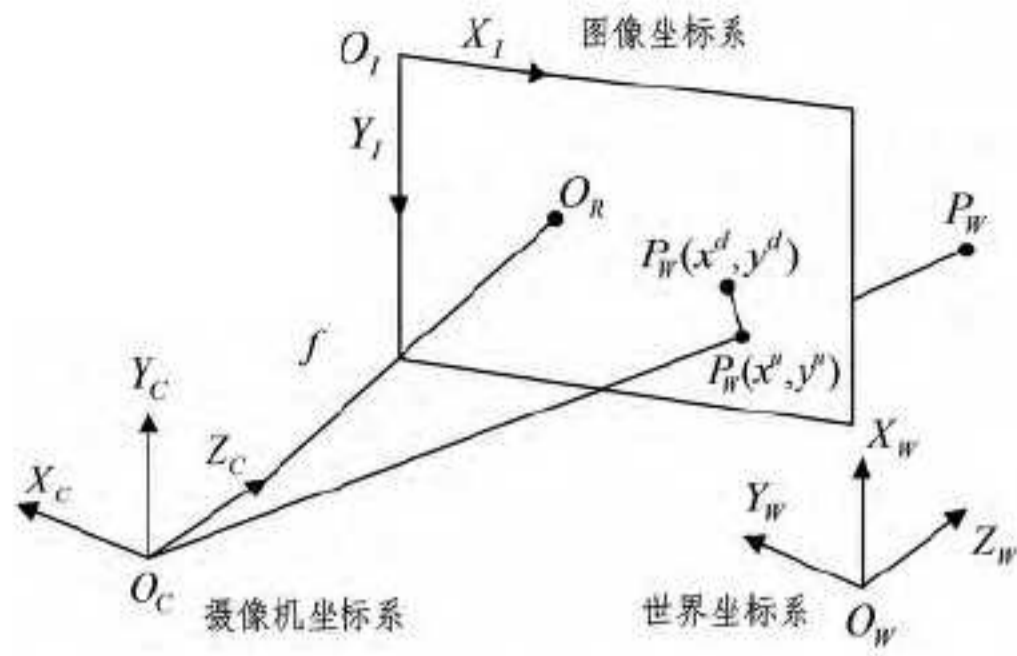


图 1 畸变示意图

图 1 中存在世界坐标系(O_W)、摄像机坐标系(O_C)和图像坐标系(O_I)3 个坐标系, O_R 为图像中心。 P_W 表示世界坐标系下某一点,在成像过程中,理想非畸变成像点坐标为 $P_W(x^u, y^u)$,由于存在非线性畸变,真实成像点会偏离至坐标 $P_W(x^d, y^d)$ 位置处。图像畸变坐标 $P_W(x^d, y^d)$ 到非畸变坐标 $P_W(x^u, y^u)$ 的过程就是畸变图像校正过程。

对于上述两类主要畸变,标准畸变模型如式(1)所示,它表示了从畸变图像坐标(x^d, y^d)到非畸变图像坐标(x^u, y^u)的映射关系。

$$\begin{aligned} x^u &= x^d + \overline{x^d} (K_1 r_d^2 + K_2 r_d^4 + K_3 r_d^6 + \dots) + [P_1 (r_d^2 + 2 \overline{x^d}^2) \\ &\quad + 2P_2 \overline{x^d} \overline{y^d}] [1 + P_3 r_d^2 + \dots] \\ y^u &= y^d + \overline{y^d} (K_1 r_d^2 + K_2 r_d^4 + K_3 r_d^6 + \dots) + [P_1 (r_d^2 + 2 \overline{y^d}^2) \\ &\quad + 2P_2 \overline{x^d} \overline{y^d}] [1 + P_3 r_d^2 + \dots] \end{aligned} \quad (1)$$

其中, $\overline{x^d} = x^d - c_x$, $\overline{y^d} = y^d - c_y$, $r_d^2 = \overline{x^d}^2 + \overline{y^d}^2$, K_1, K_2, K_3 为径向畸变系数, P_1, P_2, P_3 为离心畸变系数。畸变中心用 (c_x, c_y) 表示, r_d 为畸变像素坐标到畸变中心的距离。

通常情况下,特殊图像视觉的应用需要高阶畸变系数才能满足要求。任何畸变校正方法的本质都是确定畸变系数和相应的畸变中心的过程。

3 畸变校正

畸变校正的目的就是找到世界坐标系到摄像机成像平面坐标系之间的对应关系。在图像校正过程中,有这样一个性质:世界坐标系中的直线在校正后的图像中相对位置不变,即平行和相交关系不会改变。基于上述性质,本文创新性地提出了更加简洁有效的且可自适应的校正方案。

本文采用黑白棋盘格作为标定参照物。一般情况下,基于图形几何性质的校正方法所需点的数量较多(文献[6]中需要 880 个点),这么多点坐标的手工提取给图像校正带来很大不便。为了方便获取大量的点坐标,本文对棋盘格标定模板与鱼镜头的相对位置做严格的限制,即鱼镜头光轴在标定模板平面上的投影与标定模板的横线垂直(如图 2 所示)。

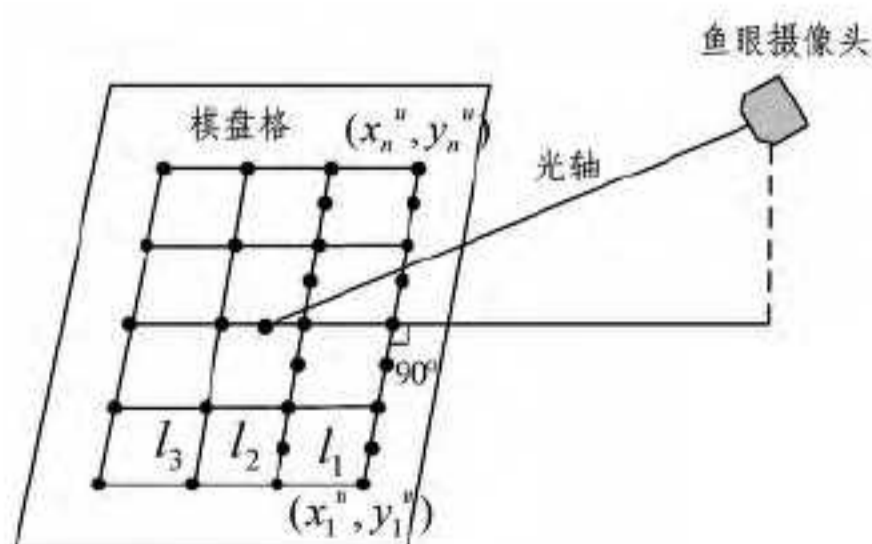


图 2 位置限制

图 2 中,世界坐标系下, l_1, l_2 和 l_3 为 3 条平行线,图像校正后,3 条线的相对位置关系不会改变,即在校正图像中,3 条直线也应该保持平行。

对标定模板做如上位置限制后,畸变图像中棋盘格角点坐标通过角点检测算法很容易得到。基于上述位置限制,采集的畸变图像如图 3 所示。



图 3 畸变图像与曲线拟合

图 3 中,利用 SUSAN 改进算法[11]进行角点检测,使用有限的角点可以准确地拟合出整条曲线,这样就能很方便地获取任意数量的点用于图像校正。改进的 SUSAN 算法能够为本文方法提供亚像素级的角点坐标,可以提高曲线拟合的准确性。图中,曲线由 12 个角点拟合得到,可以看出拟合曲线与实际畸变情况是相符的。

3.1 目标函数

目标函数是解决问题的关键,根据我们所关心的问题,合理地提取目标函数,结合合适的求解算法,问题才能得以更好的解决,本文从畸变图像直线特性入手提取目标函数。

本文中,目标函数描述了畸变校正准则与畸变系数之间的关系。目标函数越小,则相应的畸变系数越优,即最优的畸变系数使得目标函数最小。

我们假设 (x^u, y^u) 为非畸变图像中直线 l 上的点,由于上文对标定板和鱼镜头位置有严格约束,由图 2 可以看出同一条直线上的点 y^u 相等,则有

$$y^u = k_l \quad (2)$$

其中, k_l 为常数, l 取 1, 2, 3, ...。由标准模型式(1)可知, y^u 是 (x^d, y^d) 的函数,所以式(2)可以写成,

$$y^u(x^d, y^d) = k_l \quad (3)$$

我们取同一条直线上的多点坐标 $y_i^u(x_i^d, y_i^d)$, $i=1, 2, 3, \dots, N$, 以其中的某一点 $y_r^u(x_r^d, y_r^d)$ 为基准(例如取直线的中心点为基准),则有 $\Delta y_{i,r}^u = |y_i^u(x_i^d, y_i^d) - y_r^u(x_r^d, y_r^d)| = 0$, 于是我们建立以下目标函数:

$$E = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq r}}^N (\Delta y_{i,r}^u)^2 \quad (4)$$

选取图像中多条直线上的点,利用校正算法计算最优畸变系数,使得目标函数最小。

至此目标函数已经确立,我们就可以在拟合曲线上提取任意数量的点坐标来计算目标函数。

3.2 畸变中心

理论上畸变中心应该是图像的中心,但是由于广角摄像头制造工艺的问题,畸变中心会在理论中心附近产生小幅偏离,文献[1]中,对于大小为 360×240 的图像,畸变中心偏离大概 2 个像素。

畸变校正过程是计算最优畸变系数的过程,在计算之前,首先讨论畸变中心的选取问题。

由于采用黑白棋盘格标定模板,原则上,畸变中心可以由文献[1]提供的方法计算求得,但是计算结果与真实畸变中心

也会有误差。为了避免此误差对本文校正算法造成影响,本文直接采用图像中心作为畸变中心。同时文献[6]已证明:选取图像中心作为畸变中心对校正结果的影响可以通过离心系数 P_1 和 P_2 进行补偿,这样使得本文方法免去了计算畸变中心的过程。

3.3 渐近寻优算法

校正算法对图像校正结果起着决定作用。选择合适的畸变校正算法计算最优畸变系数,使得上文中目标函数式(4)最小。

文献[12]中用8点算法。8点算法的优点是需要点数很少(8个点即可);缺点也很明显:首先8点算法复杂,其涉及到矩阵条件数,角点位置的选择对结果有很大的影响。文献[6]在直线斜率矫正时,使用LM算法计算最优参数。但是LM算法最大的缺点[6]是:对初始参数设置要求非常严格,初始参数设置不合适,算法不收敛,导致校正失败。畸变系数真实值非常小(文献[6]中 $P_1 = -3 \times 10^{-7}$),这给LM算法初始值的设置带来很大困难。

本文采用渐近寻优算法,较LM算法,该算法初始值设置宽泛,而且算法复杂度低,截止参数 ϵ 设置合适即可。

渐近寻优算法流程如图4所示,具体实现步骤如下:

- (1) 利用SUSAN算法提取棋盘格角点左边;
- (2) 计算拟合曲线方程,提取点坐标;
- (3) 确定畸变系数的取值范围 $K_{i-start} \sim K_{i-stop}$ 和 $P_{i-start} \sim P_{i-stop}$, 取值间隔数目 K_{i-ceil} , P_{i-ceil} 和截止参数 ϵ ;
- (4) 按照取值间隔依次选取畸变系数 k_{i-m} , p_{i-n} , 带入点坐标,依次计算目标函数 E_{mn} ;
- (5) 判断目标函数最小值 $E_{min} < \epsilon$ 是否成立,如果不成立,对参数重新赋值,算法循环继续;否则算法结束。

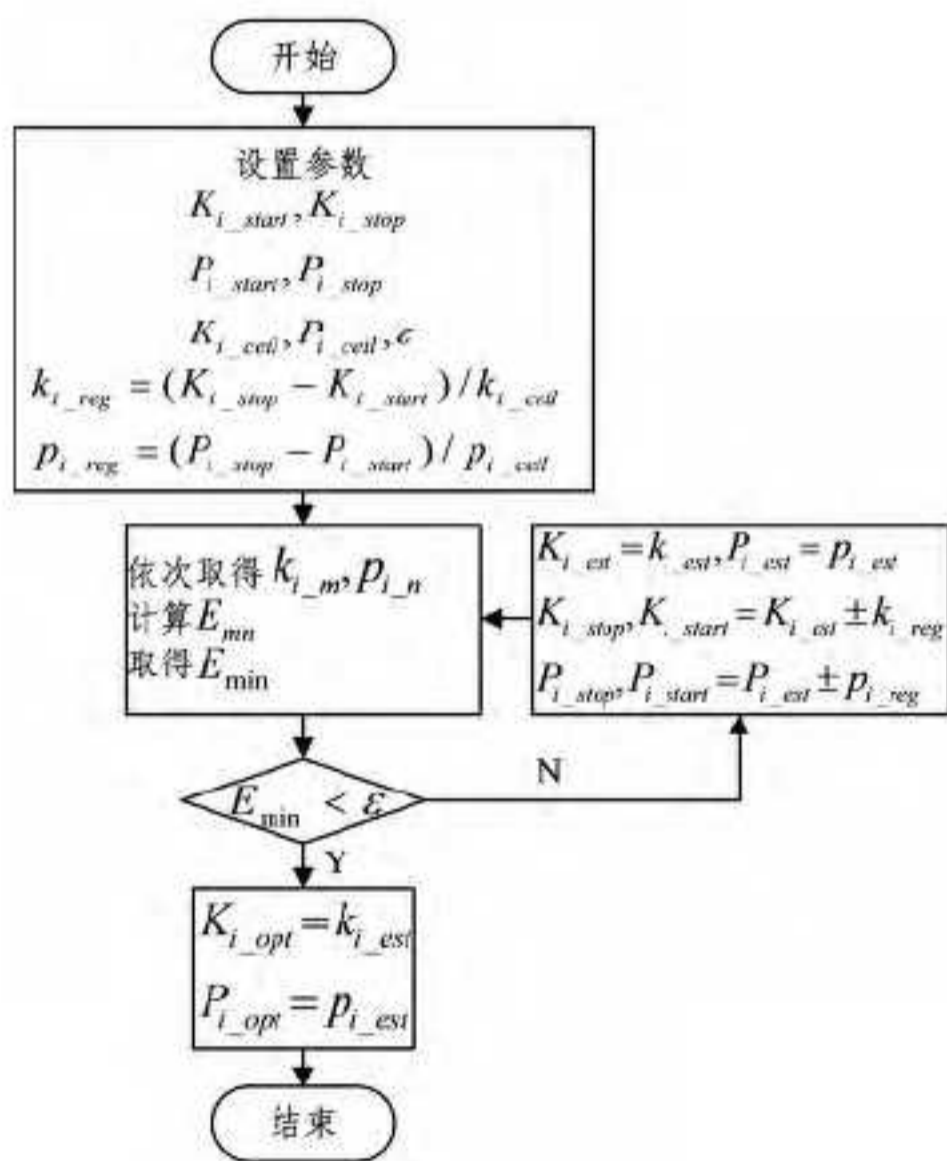


图4 算法流程

4 实验及分析

理论上,对于标准畸变式(1),畸变系数阶数越高,则校正结果越好。模型文献[6]中证明:对校正结果影响最大的畸变系数为 K_1 , P_1 , 本文主要考虑 K_1 和 P_1 两个畸变系数。

4.1 实验结果显示

实验采用韩国 Image Next 公司生产的 INVUE 系列超广

角镜头,视野范围为 $180^\circ \times 140^\circ$,分辨率为 640×480 。畸变图像严格按照前文位置限制采集得到,图像大小为 360×240 。实验使用6条直线,一共1200个点用于校正,按照3.3节中的渐近寻优校正算法计算畸变系数。

本文实验中初始参数设置范围为 $K_{1-start} \sim K_{1-stop} = -1 \sim 1$, $P_{1-start} \sim P_{1-stop} = -1 \sim 1$ (建议参数范围)。对于不同大小的畸变图像, ϵ 设置不同,本文中 ϵ 取 3.6×10^3 (平均到每个点为3个像素的差距)。实验数据如表1所列,算法经过713次迭代得到表1的中间系数,经过1037次迭代得到最优系数。部分实验结果如图5所示。

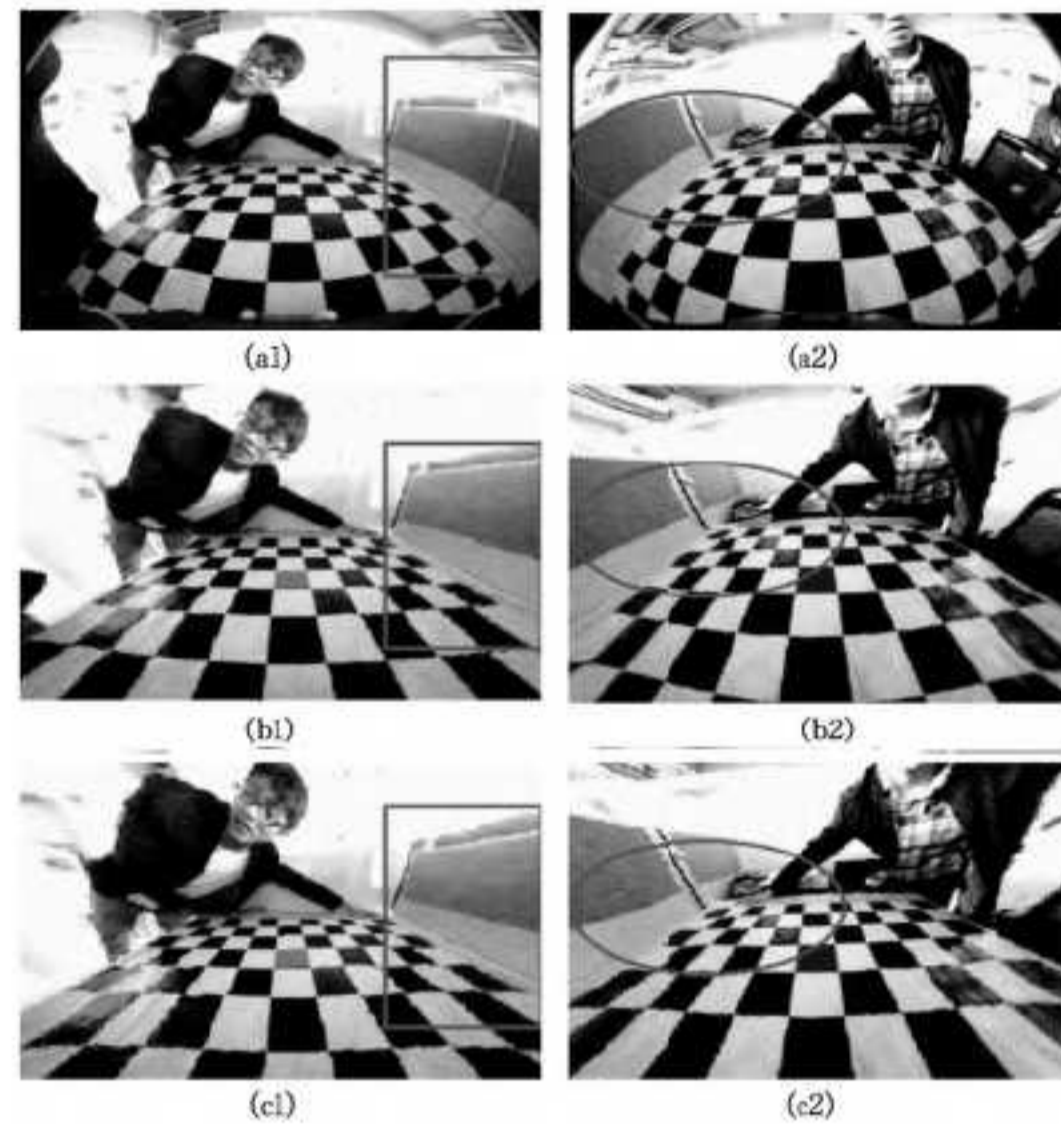


图5

已有的校正方法全程均需人工手动参与,无法实现图像校正自动化,所以比较算法的执行效率没有意义。本文算法可自动提取角点并利用寻优算法计算最优畸变系数,易于实现校正的自动化,这是本文方法的一个重大优势。

表1 实验数据

畸变系数	K_1	P_1
中间系数	-7.030722×10^{-6}	3.176725×10^{-6}
最优系数	-5.382243×10^{-6}	6.396607×10^{-6}

图5中,(a1)和(a2)是两幅原始畸变图像,从图中标识的矩形和椭圆区域可以看出,桌子边沿发生了严重的畸变。(b1)和(b2)是对应表1中间系数校正的结果,相比较原始图像棋盘格畸变曲线,(b1)和(b2)已有明显校正效果。(c1)和(c2)是最终的校正结果。从图5显示的结果可以看出,标识区域内的桌沿已经被校正为直线。

4.2 实验结果分析

为验证中心寻优算法得到的畸变系数是否精确,将得到的系数作为LM算法的初始参数,结果证明LM算法[13]对本实验结果数据并不能进一步优化,这更加证明了渐近寻优算法的有效性。

结束语 本文基于鱼镜头畸变图像线性特征提出一种新的校正方法。该方法提取有限角点拟合畸变曲线,利用渐近寻优算法优化目标函数计算畸变系数。与其他方法相比,该算法初始参数设置宽泛,时间复杂度低,鲁棒性高,易于实现校正自动化,对其他校正方法有重要的参考意义。

本文校正方法可以应用于图像监控、虚拟现实,以及机器

参考文献

[1] Scaramuzza D, Martinelli A, Siegwart R. A Flexible Technique for Accurate Omnidirectional Camera Calibration and Structure from Motion[M]. IEEE, 2006

[2] Zhang Z Y. A Flexible Technique for Camera Calibration[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(11): 1330-1334

[3] 郭永刚, 葛庆平, 冯平, 等. 一种基于控制点自动提取的图像畸变矫正算法[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(2): 241-216

[4] 王占斌, 赵辉, 陶卫, 等. 广角镜头桶形畸变的样条函数修正方法[J]. 光电工程, 2008, 35(4): 140-144

[5] 马广斌, 章文毅, 陈甫. 图像几何畸变精校正研究[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(9): 45-48

[6] Ahmed M T, Farag A A. Nonmetric calibration of camera lens distortion; differential methods and robust estimation[J]. IEEE

Transactions on Image Processing, 2005, 14(8): 1215-1230

[7] 崔洪洲, 孔渊, 周起勃, 等. 基于畸变畸变率的图像几何校正[J]. 应用光学, 2006, 27(3): 183-185

[8] 韩广良, 宋建忠. 一种基于畸变等效曲面的图像畸变矫正[J]. 光学技术, 2005, 31(1): 122-124

[9] 郭羽, 杨红, 杨照金, 等. CCD 摄像系统镜头的畸变测量[J]. 应用光学, 2008, 29(2): 179-282

[10] Slama C. Manual of photogrammetry[M]. American Society of Photogrammetry, 1980

[11] 徐树奎, 李国辉, 张军, 等. 基于多方向对称和匀质约束的 SUSAN 棋盘格角点检测算法[J]. 计算机科学, 2011, 38(9): 248-252

[12] Richard I. In defence of the 8-point algorithm[C] // Proc. International Conference on Computer Vision, 1995

[13] Manolis I, Lourakis A. A Brief Description of the Levenberg-Marquardt Algorithm Implemented by Levmar[J]. Foundation for Research and Technology, 2005(2)

(上接第 177 页)

结束语 如何识别食管癌内镜图像中的病变区域, 不仅是生物医学的前沿课题, 也是图像处理和模式识别领域中一个重要的研究方向。本文根据食管癌内镜图像的纹理特点给出了食管癌内镜图像识别的一组统计特征, 并提出了一种食管癌内镜图像识别算法。该算法通过对食管癌内镜图像进行分割, 提取每一个分割块的特征向量, 并采用 k -means 算法进行多次迭代聚类, 在此基础上根据规则筛选可疑类, 最后在食管癌彩色图像上标出可疑区域。在真实医学数据集上的实验表明, 该识别算法是可行的和有效的, 可以辅助医学专家进行早期食管癌诊断。

参考文献

[1] 冯建东. 早期食管癌内镜诊断进展[J]. 中外医学研究, 2013, 11(10): 150-152

[2] 王霄, 王安荣, 樊晋川. 食管癌高发区居民食管癌及癌前病变状况分析[J]. 东南大学学报: 医学版, 2013, 32(1): 56-59

[3] 彭贵勇. 内镜技术在早期食管癌诊治中的应用[J]. 现代消化及介入诊疗, 2012, 18(1): 23-24

[4] 陈子洋, 刘晓岗, 李易. 内镜黏膜剥离术治疗早期食管癌的临床研究[J]. 华西医学, 2013, 28(2): 184-185

[5] 焦蓬蓬, 郭依正, 卫星. 基于 LVQ 神经网络的医学图像识别研究[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(18): 4535-4537

[6] Rahman M M, Bhattacharya P. An integrated and interactive decision support system for automated melanoma recognition of dermoscopic images [J]. Computerized Medical Imaging and Graphics, 2009, 34(2010): 479-486

[7] Tabakov M, Zareba S, Pula B, et al. Using fuzzy Sugeno integral as an aggregation operator of ensemble of fuzzy decision trees in

the recognition of HER2 breast cancer histopathology images [C] // Computer Medical Applications, Sousse; ICCMA, 2013: 1-6

[8] Pan Shi-ming, Lin Chia-hung. Application of grey relational analysis to recognition of liver cancer in biopsy Images[C] // Computer, Consumer and Control, Taichung; IS3C, 2012: 918-921

[9] Suryatenggara J, Ane BK, Pandjaitan M, et al. Pattern recognition on 2D cervical cytological digital images for early detection of cervix cancer[C] // Nature & Biologically Inspired Computing, Coimbatore; NaBIC, 2009: 257-262

[10] 古庆家, 安惠民, 刘亚峰. 鼻内镜手术治疗青少年及儿童慢性鼻窦炎[J]. 中国耳鼻咽喉头颈外科, 2004, 11(4): 231-241

[11] Ji Bo, Song Rui-feng, Xu Feng, et al. Diagnosis Expert System for Oesophagus Cancer in Early Stage[C] // CSSS, 2012. Nanjing, China, Aug. 2012: 3068-3071

[12] 苑丽红, 孙爽滋, 付丽. 灰度共生矩阵检索纹理图像的算法研究[J]. 计算机科学, 2009, 36(11): 300-303

[13] Haralick R M, Dinstein S K. Textural feature for image classification[J]. Systems Man and Cybernetics, 1973, SMC-3(6): 610-621

[14] Lee S S, Lin J C. An accelerated K-means clustering algorithm using selection and erasure rules[J]. Journal of Zhejiang University (Computers & Electronics), 2012, 13(10): 761-768

[15] Lin Liang-kui, Xu Hui, Sheng Wei-dong. Multi-target state-estimation technique for the particle probability hypothesis density filter[J]. Science China (Information Sciences), 2012, 5(10): 2318-2328

[16] 陈光平, 王文鹏, 黄俊. 一种改进初始聚类中心选择的 K-means 算法[J]. 小型微型计算机系统, 2012, 33(6): 1320-1323