

新型方向性平面靶标及拓扑定位算法

张效栋, 孙长库

ZHANG Xiao-dong, SUN Chang-ku

天津大学 精密测试技术及仪器国家重点实验室, 天津 300072

State Key Laboratory of Precision Measuring Technology and Instruments, Tianjin University, Tianjin 300072, China

E-mail: cgzs.zhang@gmail.com

ZHANG Xiao-dong, SUN Chang-ku. Novel directional pattern and mapping location algorithm. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(11): 104-106.

Abstract: In this paper, a novel directional pattern is designed. This pattern is different with the current directional patterns, only composed of simple circle shapes. Therefore, the design and manufacture process is simple. According to the structural features, the mapping location algorithm based on collinear invariant ruler is proposed. Experimental results have proved that this algorithm works accurately and steadily. In addition, the design element can be revised easily due to the actual application requirement. The instances using spherical and toroidal pattern have been introduced finally.

Key words: computer vision; directional pattern; mapping location; collinear; system calibration

摘要: 设计了一种新型方向性平面靶标。区别于现有方向性靶标, 该靶标仅由简单的圆组成, 因此, 设计和加工简单。针对靶标结构特点, 提出了基于共线性规则的拓扑定位算法, 实验证明, 该算法处理准确、稳定可靠。根据应用需求, 靶标易于改型使用, 并提供了球和圆环型靶标的应用实例。

关键词: 计算机视觉; 方向性靶标; 拓扑定位; 共线性; 系统标定

文章编号: 1002-8331(2008)11-0104-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TH741.4

1 前言

使用靶标对计算机视觉系统标定, 可以赋予其精确的测量能力。因此, 靶标设计是计算机视觉和图像测试的关键技术。立体靶标加工困难、成本高, 所以通常采用平面靶标组建的虚拟空间靶标进行系统标定^[1]。平面靶标处理的难点在于: 如何确定采集得到的靶标图像中特征点的实际位置关系, 称为拓扑定位。而实现拓扑定位的自动化处理是靶标设计的关键所在。

在平面靶标使用过程中, 靶标与视觉系统的位置摆放可能是随意的, 如 Zhang 的摄像机标定方法^[2]或利用平面靶标进行姿态定位^[3], 这给自动化拓扑定位带来新的挑战。方向性平面靶标正是为完成这个任务而设计的。所谓方向性靶标, 就是依据靶标的结构特征, 对靶标的倾斜或旋转进行识别, 从而进行正确的拓扑定位。Luis 等^[4]利用靶标的分布可以组成规则的 Delaunay 三角这个先验知识, 对等大小圆形靶标实现软件方法的方向识别, 拓扑定位算法较复杂; Mark 等^[5]采用具有 36 位编码的 ARTag 模型对靶标点进行唯一编码, 简化了拓扑定位算法, 但增加了图像处理和靶标设计的难度。

本文设计了一种新型方向性平面靶标。它采用简单的圆形作为方向性靶标的设计图案, 并提出基于共线性规则的拓扑定位算法, 使靶标不仅易于设计、加工和自动化处理, 而且易于改

型为球或圆环, 适应不同场合的需求, 在实际项目中得到成功应用。

2 新型方向性平面靶标设计

新型靶标由一组圆形阵列组成, 如图 1 所示, 圆心是靶标的特征点, 并且圆心之间的间距已知。圆形阵列分为两类: 4 大圆和 n 小圆。4 大圆是靶标的标识物, 是判断靶标方向的依据, 也是其他小圆拓扑坐标确定的基准。如图 2 所示, 依次将 4 大圆标号, 以 0 号圆中心为坐标原点建立坐标系, 0 和 1 号圆的圆心连线为 x 轴, 其垂线并朝向 2 号圆的方向定义为 y 轴。因此, 4 大圆的拓扑坐标值分别为 $(0, 0)$ 、 $(2, 0)$ 、 $(1, 1)$ 和 $(-1, -1)$ 。建立好坐标系后, 平面靶标就具有了方向性。依据靶标结构特

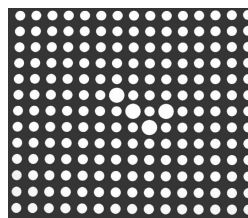


图 1 新型平面靶标

基金项目: 新世纪优秀人才支持计划资助(Supported by Program for New Century Excellent Talents in University, NCET)。

作者简介: 张效栋(1979-), 男, 博士后, 主要研究方向: 计算机视觉, 超精密加工及测量; 孙长库(1967-), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 计算机视觉, 光电检测。

收稿日期: 2007-08-20 修回日期: 2007-09-27

点,采用以下方法进行拓扑定位。另外,大圆的排列采用对角放置,避免了相邻放置时,因二值化阈值的选择不当导致大圆区域连接的错误。因此,在保证大小圆的直径比值相对较大的同时,这种设计还可以选择直径尽量大的圆,易于靶标远距离的使用和处理。

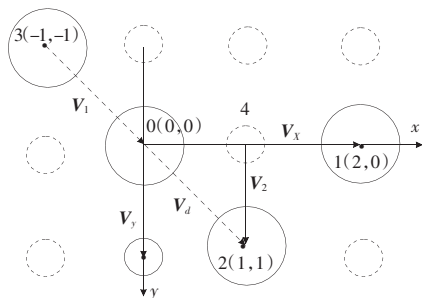


图2 坐标系的创建

3 共线性

摄像机对物体进行投影变换,使物体的长度、面积以及距离等量因距离摄像机远近而变化,但这个变换过程中仍然存在不变量^[6],依据这些不变量可以确定靶标圆之间的拓扑关系。共线性(Collinear)就是这样的量,即多个共线点在投影变换后仍然具有共线性。根据靶标圆的排列特点,利用共线不变性规则可以对特征点进行同行(列)区分。这里使用矢量夹角的正弦值定义共线性。如图3所示,三个特征点 p_1 、 p_2 和 p_3 的共线性 CL 为:

$$CL = \sin\theta = \sqrt{1 - \left(\frac{\mathbf{v}_1 \cdot \mathbf{v}_2}{\|\mathbf{v}_1\| \cdot \|\mathbf{v}_2\|} \right)^2} \quad (1)$$

其中 \mathbf{v}_1 和 \mathbf{v}_2 是三个点组成的两个矢量, $\|\cdot\|$ 是矢量求模符号。 CL 的范围为 $[0, 1]$,越接近0表示三点越具共线性;反之,越接近1,越不具共线性。在实际应用中,由于镜头畸变和圆中心提取偏差^[7]会对共线性产生微量影响,所以在共线性量化判断时,需要设定一个较小的阈值 CL_c (如 $CL_c = \sin 3^\circ$)。

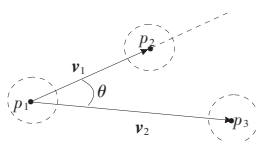


图3 共线性计算

4 基于共线性的拓扑定位算法

为了实现靶标的自动处理,依据靶标图案特点设计了一套图像预处理算法,其一般步骤为:自动阈值分割、噪声滤除、轮廓跟踪、椭圆识别、椭圆拟合及中心提取等^[7]。

对图4(a)进行预处理后,依据轮廓大小对圆进行分组,区别大小圆,得到图5(a)的处理结果。然后,按照以下步骤进行

拓扑定位。

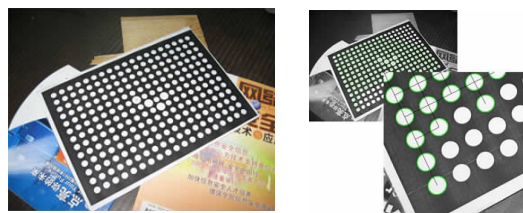


图4 原始采集图像及靶标处理结果

(1)依据0、2和3号圆的圆心共线条件,区分1号圆;根据1号圆与其余大圆角度关系区分三个圆,并建立如图5(b)所示的坐标系。

(2)如图2所示, V_x 所在的轴线为 $y=0$ 轴,其上的特征圆可由 V_x 共线性确定;对其进行排序编号,可以确定其 x 坐标值;其符号可由它们和1号圆心连线矢量与 V_d 夹角来判断:夹角为锐角($<90^\circ$),则符号为正;反之则为负。同理,可以确定轴 $x=1$ 、 $y=-1$ 和 $x=0$ 上所有圆,结果如图5(c)所示。

(3)连接 $y=0$ 轴和 $y=-1$ 轴上 x 拓扑坐标值一样的圆,组成一矢量线段,如图5(d)所示,查找与该矢量线段共线的小圆,并设置其 x 拓扑坐标值。同理,利用 $x=0$ 轴和 $x=1$ 轴确定其余小圆的 y 坐标。

(4)由于摄像机投影转换的影响,其中一些圆可能产生比较大的变形,成为不可靠圆,影响圆心定位的精确性,可以借助圆形度^[7]对确定拓扑坐标后的圆进一步去除。

以上各步的最终处理结果如图4(b)所示,使用直线把相邻拓扑坐标值的特征点进行连接,很容易判断处理结果的正误。

5 实验及应用

在实验中,采用13行 \times 19列,中心距离 $d=14$ mm的方向性靶标,使用Telic CS8620HCi摄像机,镜头标称焦距为25 mm进行图像采集。图6(a)是把靶标放置于复杂背景中进行处理的结果,由拓扑定位结果把特征点进行链接。另外,为了验证拓扑定位算法的稳定性,对靶标进行了干扰性实验,用干扰物对其部分特征圆遮挡,实验结果如图6(b)所示,和没有遮挡的结果进行比较,可以发现处理结果正确无误。

由于平面靶标具有单面性,对其可使用的范围进行了实验。把靶标放置于旋转平台上,调整靶标最初位置为其平面和CCD像面大致平行,然后以 5° 为增量旋转靶标直至转角为 70° 。对采集的图像进行处理发现: 60° 以及之前的位置,能顺利进行拓扑定位;而靶标在 60° 之后的两位置未能得到好的处理结果。这个结果的主要原因是:(1)靶标平面和CCD像面的夹角过大时,靶标元素产生严重变形;(2)同时靶标间距随夹角也

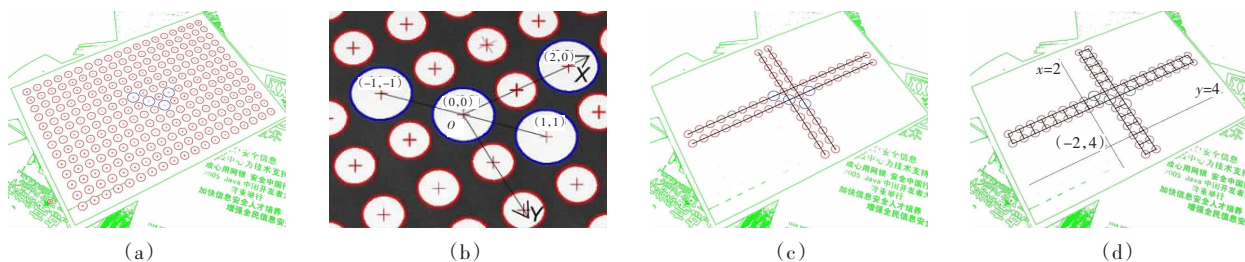


图5 靶标拓扑定位处理流程

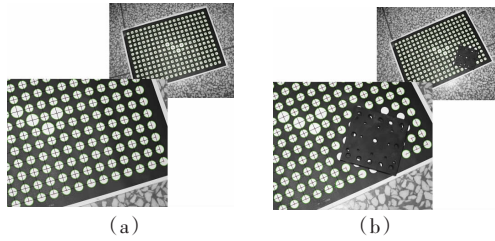


图6 实验结果

变小,使得二值化提取产生了相邻圆连接的错误。因此,在使用时,尽量保证靶标平面和 CCD 像面夹角在 60° 之内。

新型平面靶标结构简单,可以方便地根据实际需要改型,且靶标处理算法不用或仅做少量改动。图 7(a)是新型靶标在中国航空某研究所的重点技改合作项目中的应用实例,主要用于双目摄像机标定,采用陶瓷球做特征点避免提取图像圆的中心和实际靶标圆的中心偏差的问题^[9],提高标定精度。图 7(b)是改型为圆环靶标应用到厦门某检测设备公司四轮定位项目中的实例。为了避免外界环境的影响,采用近红外敏感摄像机及光照,靶标也采用近红外敏感材料制作。因靶标受光照充足,为了降低大圆的散光对四周小圆成像产生的影响,将大圆面积缩小,改为圆环。

6 结束语

分析并设计了新型方向性平面靶标。该靶标仅由圆形图案组成,结构简单,易于设计加工。针对靶标结构特点,提出了基于共线性规则的拓扑定位算法,并详细介绍了靶标的处理流程。实验和应用实践证明,该靶标的处理算法准确、稳定可靠,并且靶标易于根据需求改型使用,可以为计算机视觉系统提供有益帮助。

参考文献:

[1] 吴斌,薛婷,郝继贵,等.任意位姿平面靶标实现立体视觉传感器标

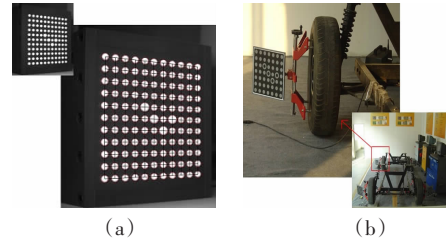


图7 改型靶标应用实例

定[J].光电子·激光,2006,17(11):1293-1296.

- [2] Zhang Z Y.A flexible new technique for camera calibration[J].IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2000,22(11):1330-1334.
- [3] John C,Mather A S.3-D position sensing using a passive monocular vision system[J].IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence,1991,13(8):809-813.
- [4] Luis A,Agustín S,Javier S.Robust detection and ordering of ellipses on a calibration pattern,0029[R].France:University Institute for Cybernetic Sciences and Technologies,2004.
- [5] Chang S,Alan B,Mark F.Automatic grid finding in calibration patterns using delaunay triangulation,NRC-46497/ERB-1104 [R].Canada:National Research Council Publication,2003.
- [6] Richard H,Andrew Z.Multiple view geometry in computer vision[M].2nd ed.English:Cambridge University Press,2004.
- [7] Sun C K,Zhang X D,Wang Z X,et al.A new ellipse Recognition algorithm for CCD Camera[J].Key Engineering Materials,2005,295/296:729-734.
- [8] 张效栋,孙长库.数字光栅投影轮廓测量系统不确定视角标定法[J].清华大学学报:自然科学版,2007,47(5):659-662.
- [9] Janne H,Olli S.A four-step camera calibration procedure with implicit image correction[C]//Proc of IEEE Computer Vision and Pattern Recognition,Santa Barbara,California,1997:1106-1112.

(上接 103 页)

程中的参数并非对每一个图像都是最佳并且固定不变的,还须用户针对不同的原图像对参数做相对调整,使其达到最理想的水彩画。这些也是今后继续研究的方向。非真实感绘制在近几年虽然已经取得了长足的进展,但在水彩画仿真模拟方面依然存在着较多的问题需要研究和解决,相信通过不断的努力会使水彩画的仿真变得更加简单和逼真。

参考文献:

- [1] Strothotte T,Schlechtweg S.非真实感图形学-造型、绘制与动画技术[M].叶修梓,万华根,张引,译.北京:电子工业出版社,2004.
- [2] Small D.Simulating watercolor by modeling diffusion,pigment,and paper fibers[C]//Proc SPIE'91:Image Handling and Reproduction Systems Integration,1991,1460:140-146.
- [3] Curtis C J,Anderson S E,Seims J E,et al.Computer-generated-watercolor[C]//Proc ACM SIGGRAPH,Los Angeles,US,1997:421-430.
- [4] van Laerhoven T,Liesenborgs J,van Reeth F.Real-time watercolor painting on a distributed paper model[C]//Proc Computer Graphics International,Crete,Greece,2004:640-643.

- [5] Lum E B,Ma K L.Non-photorealistic rendering using watercolor inspired textures and illumination[C]//Proc Pacific Graphics,Tokyo,Japan,2001:322-330.
- [6] Burgess J,Wyvill G,King S A.A system for real-time watercolor rendering[C]//Proc Computer Graphics International,New York,US,2005:234-240.
- [7] Lei S I E,Chang C F.Real-time rendering of watercolor effects for virtual environments[C]//Proc IEEE Pacific-Rim Conference on Multimedia,Tokyo,Japan,2004:474-481.
- [8] Strassmann S.Hairy brushes[C]//Proc ACM SIGGRAPH,Dallas,US,1986:225-232.
- [9] Hertzmann A.Painterly rendering with curved brush strokes of multiple sizes[C]//Proc ACM SIGGRAPH,Orlando,US,1998:453-421.
- [10] Luft T,Deussen O.Real-time watercolor for animation[C]//Proc J Comput Sci & Tech,2006,21(2):159-165.
- [11] 贺兴华,周媛媛,王继阳,等.MATLAB7.X 图像处理[M].北京:人民邮电出版社,2006.
- [12] 李康,刘志镜,余斌,等.彩色图像融合算法与技术的研究[J].计算机应用,2001,21(8):38-40.