

利用全局信息提取靶标特征的方法

赵连军^{1,2} 刘恩海¹ 张文明¹ 赵汝进¹

(¹ 中国科学院光电技术研究所, 四川 成都 610209)
² 中国科学院大学, 北京 100190)

摘要 为了准确提取图像中目标特征,结合靶标的尺寸和特征信息提出了一种基于全局信息的方法。利用霍夫变换(HT)确定图像中包含靶标的目标区域;在目标区域中提取靶标上不同特征区域的中心;利用提取的中心拟合靶标在图像中所占区域的圆心和半径;完成图像上各区域与靶标上对应区域的匹配。实验证明该方法能够有效、准确的提取图像中靶标的特征,实验室内实验中靶标上特征区域中心提取精度为 0.09 pixel,实验室外提取精度为 0.12 pixel。在序列图像处理时,利用前一帧图像的结果可以有效降低计算量,提高提取精度。

关键词 特征提取;目标识别;霍夫变换;曲线拟合;机器视觉

中图分类号 TP391 文献标识码 A doi: 10.3788/AOS201434.0415001

Feature Extraction of Target Based on Global Information

Zhao Lianjun^{1,2} Liu Enhai¹ Zhang Wenming¹ Zhao Rujin¹

(¹ Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of Sciences, Chengdu, Sichuan 610209, China)
² University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract In order to extract center and radius of target in the image, a method based on global information of target is proposed. Hough Transform (HT) for circle detection is provided as a preprocessing procedure for target detection, results of HT are used as reference for segmenting the region for target parameters determination. Region contains target found by HT is called region of interest (ROI), and square regions on the target and centroids of square regions are extracted in further step. Centroids of square regions are used to fit circle for determination of precise position of center and radius of target. According to center and radius of target, other regions on the target are detected, and parameters of these regions are deduced. Correspondences between parameters extracted from the image and model target are calculated. Experiments operated in laboratory show that position precision of centroids of regions in ROI is 0.09 pixel, and experiments outside of laboratory show that the precision is 0.12 pixel. Complexity is simplified and position precision is improved in accordance to previous image when sequence images are under processing.

Key words feature extraction; object recognition; hough transform; curve fitting; computer vision

OCIS codes 150.1135; 150.6910

1 引 言

位置姿态测量是空间飞行器进行交会对接和空间维护的必要前提。传统的位置姿态测量是基于合作目标的,测量系统由观测相机和合作目标组成^[1-3]。合作目标上的特征按照测量需要排布,而

且其上的特征点比较容易提取。位置姿态测量算法利用提取的特征点计算靶标和相机的相对位置姿态。合作目标简化了特征点的提取难度,但是增加了系统的复杂度,很大程度上限制了测量系统的应用范围。

收稿日期: 2013-10-23; 收到修改稿日期: 2013-12-08

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(2014CB744200)

作者简介: 赵连军(1985—),男,博士研究生,主要从事图像处理和空间物体位置姿态测量等方面的研究。

E-mail: zhao-zongyu@163.com

导师简介: 刘恩海(1964—),男,研究员,博士生导师,主要从事光电精密计量测试技术方面的研究。

E-mail: leh@ioe.ac.cn

基于合作目标的测量需要预先设计和在飞船上安装合作目标,很多情况下飞船上没有预先安装合作目标,所以不能实现位置姿态测量。基于非合作目标的位置姿态测量能够克服系统复杂和应用受限的缺点,应用前景广阔,因此成为研究的热点。目标特征提取是目前基于非合作目标位置姿态测量研究领域普遍关注的一项关键技术^[4-5]。飞船上存在很多结构特征突出且尺寸已知的设备,例如太阳能帆板、对接环、舱门、测量设备的靶标等。如果能从飞船上提取到稳定准确的特征信息就可以利用传统的三点和四点测量等算法或者某目标所特有的算法完成测量任务。

霍夫变换(HT)是一种提取图像中几何特性的有效方法,它的原理是针对要提取的目标建模,然后建立与之相对应的参数空间,通过坐标变换实现边缘提取^[6-7]。HT对目标曲线不连续和噪声不敏感,能够用于检测目标被部分遮挡和目标区域与其他区域连接等情况。HT可以确定靶标在图像中的位置,但是不能准确的确定靶标在图像中的信息。

文章图中的靶标是某飞行器上相机配套靶标的试验件,与真实靶标结构相似,靶标中支撑杆末端部分使靶标具有三维结构,并使靶标能够被用于位姿测量。靶标特征提取的思想是利用HT提取的靶标在图像中的圆心和半径确定图像中靶标特征提取的目标区域(ROI),然后根据靶标的几何尺寸在ROI提取靶标上的特征。在特征提取完成之后,利用靶标上各区域的尺寸和位置关系确定图像中区域和实际靶标上对应区域的匹配关系。匹配关系建立以后就可以解算位置姿态。

2 靶标特征提取原理

靶标的结构如图1上半部分所示,靶标中间的正方形区域位于突出的支撑杆的末端,其余的特征位于同一个平面上,图1下半部分是靶标加工完成后的效果图。此靶标不是用于位置姿态测量的合作目标,当靶标距离相机较远时,在图像中占的面积较少,直接在图像中检测正方形区域计算量大,而且检测结果中存在大量噪声区域。此类目标用于测量最大的困难是如何准确的提取上面的特征。

2.1 基本方法概述

区域中心提取有基于区域和边缘等方法,基于区域特性的方法应用更广^[8-9]。经典的质心提取算法是能量质心提取法,质心在X和Y方向上的坐标

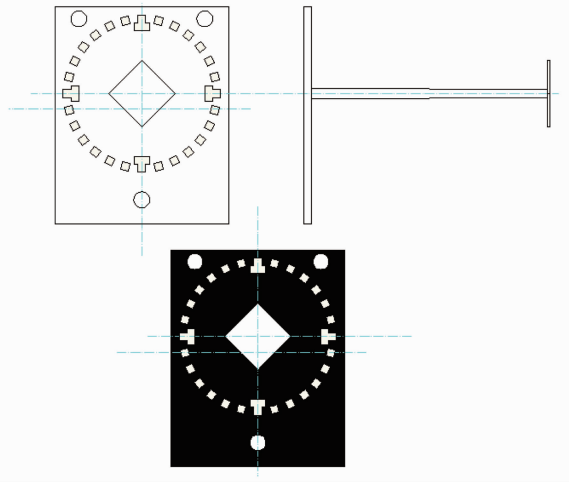


图1 靶标

Fig.1 Target

计算方法如(1)和(2)式所示

$$x_c = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n x \cdot I(x, y)}{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n I(x, y)}, \quad (1)$$

$$y_c = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n y \cdot I(x, y)}{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n I(x, y)}, \quad (2)$$

式中 $I(x, y)$ 为该点的灰度值, x, y 为该点的坐标, x_c, y_c 为区域质心。

图2是HT的原理图,图2(a)中直线 $y = ax + b$ 上的两点 (i, j) 和 (m, n) 分别对应图2(b)中的两条直线,这两条直线的交点变换回XY坐标系中就对应于穿过点 (i, j) 和 (m, n) 的直线。当图2(a)中的直线 $y = ax + b$ 与X轴接近垂直时, a 接近于无穷大。图2(a)、(b)中表示的HT很难实现,极坐标形式的HT有效解决了这个问题,原理如图2(c)、(d)所示,同样是XY坐标系中的点对应 $\rho\theta$ 坐标系中的曲线, $\rho\theta$ 坐标系中的点对应XY坐标系中的直线。圆HT变换的原理与直线变换的原理相同,只是圆变换的参数空间由圆心的坐标和半径三个变量组成,因此参数空间有三个坐标轴,XY平面上的点对应参数空间的锥形体,原理如图2(d)、(e)所示。

曲线拟合是利用图像中提取的信息解算靶标在图像中对应情况下的圆心和半径。因为可以提取的点数大于三个,所以这里采用最小二乘法进行圆拟合^[10-11]。在拟合过程中采用随机抽样一致算法(RANSAC)剔除剩余的噪声区域^[12]。

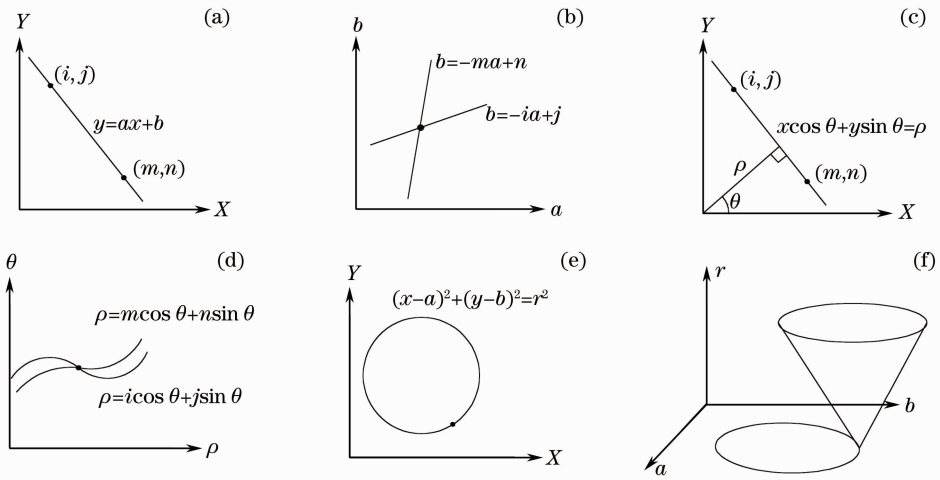


图2 霍夫变换

Fig. 2 Hough transform

2.2 靶标上正方形区域中心提取及圆拟合

由于成像过程中可能存在靶标被遮挡等问题,所以不是每个正方形区域都能完整的在图像中成像,而提取的正方形区域必须是完整、没有被遮挡、没有和其余部分连接在一起的,否则质心计算公式计算得到的区域质心是错误的。提取完整的、没有被遮挡的正方形区域的算法是:

- 1) 将根据 HT 变换得到的目标区域二值化;
- 2) 利用高于阈值的点作为种子点进行区域生长;
- 3) 标记每块区域,分别计算每块区域的纵横坐标最大值和最小值的差值 D_x , D_y , 计算 $R_{xy} = D_x/D_y$, 因为正方形区域的 D_x 和 D_y 差别较小,所以标记 D_{xy} 小于 1.2 且大于 1/1.2 的区域;
- 4) 正方形区域在图像中所占的像素个数相近,因此从 3) 中提取区域中标记区域面积一致且个数最多的区域;
- 5) 利用 4) 得到的区域质心拟合圆,检查区域质心到圆的距离,剔除与半径差别较大的点,利用剩余的质心重新拟合圆,直到所有的点到圆的距离在一定的范围内。

2.3 靶标上凸字形区域中心提取

凸字形区域的质心计算的必要前提是提取没有被遮挡的完整的凸字形区域。凸字形块的提取算法是:

- 1) 利用 2.2 的结果计算凸字形区域质心距离圆盘中心的距离,从 ROI 中找出满足条件的区域;
- 2) 利用凸字形区域面积与正方形区域面积的关系确定凸字形区域在图片中所占像素个数的区间,从 1) 的结果中剔除不满足条件的区域。

2.4 支撑杆末端区域的中心提取

由于支撑杆较长,在它末端的正方形区域在图片中成的像与靶标周围的正方形和凸字形区域有时会连接在一起,甚至与靶标外的区域连接在一起,所以利用区域能量质心法不能确定它的中心。即使突出区域的像是独立的,由于它所占面积较大,其表面的光照经常不均匀,能量质心也不能代表它的中心。利用正方形的形状特征,它的提取算法是:

- 1) 从 2.2 的目标区域中提取找出面积最大的区域;
- 2) 对区域的边缘进行 HT,找出其中最长的几条边缘,根据直线的位置关系剔除噪声直线;
- 3) 利用组成正方形边缘的四条长直线的平行和垂直位置关系从 2) 的结果中找出四目标直线,计算四条直线的交点,取四个交点的平均为正方形的中心。

2.5 特征匹配

特征提取完成之后,需要建立图像中提取的特征和靶标上特征之间的对应关系,这样才能利用传统的适用于合作目标位姿测量中的算法完成测量任务。在交会对接的视觉测量阶段,飞行器的滚动轴的旋转量较小,这里假设小于 45° 。靶标上特征匹配的算法是:

- 1) 计算靶标不存在旋转时四个凸字形区域的中心和拟合得到的圆心形成的向量;
- 2) 计算提取得到的凸字形区域的中心和圆心形成的向量,计算各向量和 1) 中得到的各向量的夹角,和哪个夹角最小,则与之建立匹配关系;
- 3) 凸字形区域匹配关系建立之后,没有提取得到的凸字形区域的中心可推测得到,同时各正方形

区域的中心位置也可以推测得到；

4) 将提取得到的正方形区域的中心与 3) 中推测得到的区域中心比较, 位置误差小于一定值的则将两点建立匹配关系。

3 靶标特征提取试验及分析

实验中使用的靶标是结构参数已知, 相机是为某飞行器设计的相机的原理样机, 内参数已知。实验室内图像采集的条件是相机不动, 靶标安装在转台上, 靶标和转台不同心, 这样转台转动就可以为相机和靶标提供不同的位置和姿态, 其中姿态变换较大, 位置变化不大。实验室外进行靶标和相机由 30 m 到 1 m 的相对运动时, 靶标安装在支架上, 相机放在带轮子的支架上, 图像采集时靶标不动, 相机向靶标靠近。

3.1 HT 检测靶标

实验室内试验中靶标和相机之间的距离为 3 m 左右, 利用 HT 检测靶标在图像中的位置, 不同图像的检测结果如图 3 所示。图 3(a) 检测到的是外圆, 图 3(b) 检测到的是内圆, 图 3(c)、(d) 检测到的是内圆和外圆的交错。虽然 HT 的检测结果不精确, 但是检测结果可以为后续的处理提供依据划定正方形区域检测的 ROI。区域划定的标准是 ROI 全部包括靶标的图像, 其次是 ROI 所占的像素数尽量少。

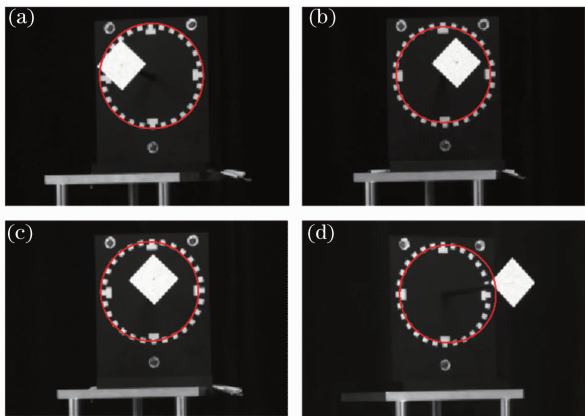


图 3 HT 检测结果

Fig. 3 Detected results of HT

3.2 正方形及凸字形区域中心提取

在 HT 检测提供 ROI 之后, 采用 2.2 的正方形区域中心提取算法和 2.3 的凸字形中心提取算法处理 ROI, 得到正方形和凸字区域的中心。图 4 是将得到的中心值标记在各自对应的二值图像中的结果, 其中(a)~(d)分别对应图 3 中(a)~(d)处理的

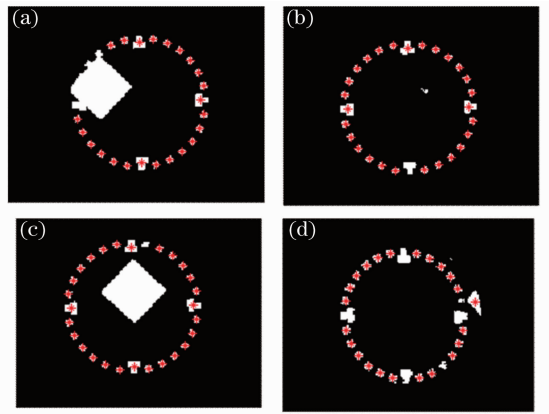


图 4 特征区域及其中心检测结果

Fig. 4 Detected feature regions and centroids results.

表 1 是图 3(a) 和图 4(a) 中的图片检测正方形区域中心得到的结果, 表 2 是检测得到凸字形区域中心的结果。如表 1 中所示, 共提取到 24 个正方形区域中的 20 个, 经过区域生长之后各区域占的像素个数在 17 到 22 之间。表 2 中所示, 共提取到 4 个凸字区域中的三个, 各区域占像素数在 61 到 69 之间。由于其余区域和中间突出的正方形区域的像连接在一起, 因此没有提取出来。

表 1 检测到的正方形区域的质心及像素数
Table 1 Centroids of square and pixels taken

	X coordinate / pixel	Y coordinate / pixel	Number of pixels
1	555.4894	242.0276	22
2	586.1163	237.2291	22
3	565.3371	238.0682	21
4	596.2060	240.3712	21
5	623.0753	293.3209	21
6	531.2474	296.4263	20
7	548.2749	322.4163	20
8	588.2088	330.4140	20
9	598.1166	326.6859	20
10	619.8958	303.6822	20
11	622.5739	271.9519	20
12	534.9711	306.1922	19
13	540.8333	315.1626	19
14	557.1843	327.9526	19
15	605.2797	245.7312	19
16	613.0122	252.9818	19
17	618.8587	261.9322	19
18	567.3360	331.1460	18
19	606.9965	320.6488	17
20	614.3548	312.9899	17

表2 凸字形区域的质心及占像素数

Table 2 Centroids of rectangle regions and pixels taken

	X coordinate / pixel	Y coordinate / pixel	Number of pixel
1	577.9529	328.6844	69
2	620.4738	282.5893	69
3	575.8920	239.7894	61

图5是利用图4中提取到的各正方形区域的中心进行圆拟合,推算得到的各正方形区域外侧边缘形成的圆。图5中(a)~(d)分别对应图4中的(a)~(d)各图。

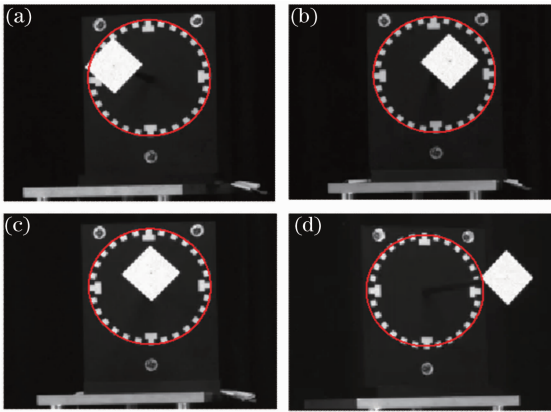


图5 利用特征区域中心拟合靶标外边缘

Fig. 5 Circle fitted by region centroids

3.3 支撑杆末端的正方形中心提取

正方形区域的提取步骤是将 ROI 中占像素数最多的区域提取出来,然后提取组成区域边界的 4 条直线,利用直线交点计算中心。图6是检测的结果,将检测得到的中心值标记在提取到的区域对应的二值图像中。其中图6(a)对应为图3(a)的检测结果,图6(b)对应为图3(c)的检测结果。

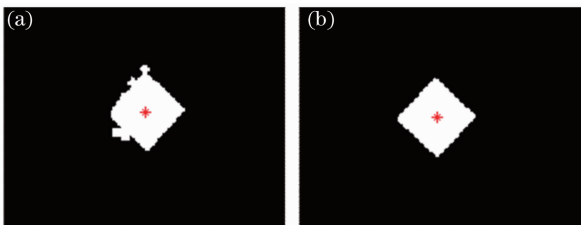


图6 突出正方形区域质心

Fig. 6 Detected centroid of protruding area

3.4 序列图像处理结果

在靶标和相机从相距 30 m 到 1 m 靠近的过程中连续拍摄 1023 幅图片并且从图像中提取靶标特征进行位置姿态计算。所有图像均能有效地提取到靶标中的特征。约 2 m 处取一幅图像,利用提取得到的信息进行位姿解算,以解算得到的位姿结果为

输入量进行重投影,所有中心位置偏差绝对值的平均值为 0.12 pixel。

3.5 试验结果分析

对于 3(a)情况下,利用全站仪标定靶标和相机的相对位置姿态,利用标定得到的位姿量将靶标上的特征点投影到相机像面上,将得到的位置坐标作为标准量与表1和表2中的数据进行比较。结果表明表1和表2中坐标值与真实值的插值的平均值为 0.09 pixel。

利用 HT 进行靶标检测,结果有很多种,如图3所示,图3(a)中所示的结果是正确检测到正方形区域组成的外圆,图3(b)是错误的检测到正方形区域组成的内圆,图3(c)和3(d)是内圆和外圆交错的情况。从图3中看出 HT 的检测结果不稳定,这是因为 HT 检测结果受很多因素的影响,例如检测时限定的圆心位置和半径长度,对应参数空间的参量变化的步长,存在噪声点等,造成参数空间中在某些坐标位置上点的个数相差不大,出现误检测。表3是图3(a)HT 变换参数空间投票结果排在前三位的圆,最后一栏(Power)表示在原空间中位于对应圆上点的个数,从中可以看出前三个结果与理想结果接近,在三个圆上的点的个数分别为 23、22 和 21,投票结果相近,所以会出现图3中检测结果不稳定的现象。即使 HT 准确检测到正方形区域组成的外圆,HT 变换的原理决定很难准确的确定靶标对应的圆的圆心和半径。

表3 HT 变换参数空间投票结果

Table 3 Results of HT

	Position of center / pixel	Radius	Power
1	(285, 577)	45.0	23
2	(284, 576)	45.8	22
3	(283, 575)	46.6	21
4	(433, 538)	47.4	20
5	(427, 543)	50.6	20
6	(408, 536)	51.4	19
7	(436, 537)	51.4	18

利用提取正方形区域的质心,采用质心的拟合圆的方法获取靶标的圆心半径可以提高精度。可以提取的正方形质心个数较多,确定圆只需要 3 个点,冗余的数据量可以在圆拟合的过程中平滑噪声,提高提取的圆心和半径的精度。同时圆拟合可以去除噪声点,如图4(d)中右侧存在一个噪声区域,在圆拟合过程中可以剔除它。

突出的正方形所在的区域在图像中比较容易分离,因为它在 ROI 中所占的像素数最多,但是它的

中心不容易提取。能量质心方程不能用于中心提取,因为它往往和圆盘边缘的正方形和凸字区域相连接,有时与靶标圆盘外的区域连接,而且存在被部分遮挡和表面的光照不均匀等现象。

室外实验中对 1023 幅图像处理,利用前一帧图像计算得到的靶标在图像中所占区域的圆心和半径预测下一幅图像中靶标所在的区域和圆的半径。整个特征提取的过程中最耗时的是 HT,利用前一帧的结果可以减小 HT 变换的目标区域和半径范围,可以大幅缩减计算量,例如表 3 中第 4、5、6 和 7 对应的圆与理想圆的圆心位置相差很大,可以利用限定搜索区域的方式排除。室外测量时背景复杂,而且室外的光照强度较大,相机上没有安装遮光罩,到达相机 CCD 的杂光强于室内导致室外测量精度低于室内。

4 结 论

基于靶标的几何特征和它在图像中的全局信息能准确的提取它在图像中的各种特征信息。单幅图像处理时,实验室内实验中靶标上特征区域中心提取精度为 0.09 pixel,实验室外提取精度为 0.12 pixel。根据相机内参数计算得到实验室内 3 m 时 0.09 pixel 对应实际靶标上的 0.19 mm;实验室外实验中 2 m 时的 0.12 pixel 对应靶标上的 0.17 mm。

利用靶标盘上的正方形区域的质心来拟合圆,进而得到靶标的圆心和半径。当靶标距离相机较近时,通常可以提取到多个正方形区域,确定圆的参数需要 3 个点,数据量的冗余可以在圆拟合时平滑噪声,提高拟合结果的精度。

通常情况下靶标和相机存在一定的位置姿态关系,也就是说靶标上正方形区域的中心在图像上并不是位于一个圆上,而是椭圆上。当知道了突出部分的中心之后可以利用它和其余的正方形和凸字形的中心利用迭代的方法精确地计算靶标在对应情况下的圆心和半径,计算过程中相机和靶标的位置姿态关系也可以精确获得。获得了靶标对应区域的圆

心和半径之后凸字区域的质心的提取变得相对比较简单,突出部分在图像中对应区域的提取也变得比较简单。获得了靶标的特征和完成特征匹配之后可以利用传统的三点和四点位置姿态测量等方法完成位置姿态计算。

参 考 文 献:

- 1 R T Howard, A S Johnston, T C Bryan, *et al.*. Advanced video guidance sensor development testing [C]. SPIE, 2004, 5418: 50-60.
- 2 R T Howard, T C Bryan, J Lee, *et al.*. Next generation advanced video guidance sensor development and test [J]. AAS 09-064, 2009. 1-13.
- 3 Ren Xingxing. Research on Visual Measurement for Spacecraft Rendezvous and Approach [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2008. 8-28.
任行行. 空间交会接近视觉测量方法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2008. 8-28.
- 4 X Du, B Liang, W Xu, *et al.*. Pose measurement of large non-cooperative satellite based on collaborative cameras [J]. Acta Astronautica, 2011, 68(11-12): 2047-2065.
- 5 Miao Xikui, Zhu Feng, Ding Qinghai, *et al.*. Monocular vision pose measurement based on docking ring component [J]. Acta Optica Sinica, 2013, 33(4): 0412006.
苗锡奎, 朱 枫, 丁庆海, 等. 基于星箭对接环部件的飞行器单目视觉位姿测量方法[J]. 光学学报, 2013, 33(4): 0412006.
- 6 Lian Ming, Fu Hongya, Fu Sen. Study on precollimation based on Hough transforms and color character [J]. Acta Optica Sinica, 2009, 29(9): 2385-2389.
廉 明, 富宏亚, 付 森. 基于 Hough 变换和颜色特征的预瞄准技术研究[J]. 光学学报, 2009, 29(9): 2385-2389.
- 7 J Borovicka. Circle detection using hough transforms documentation [J]. CoMS0121-Image Processing and Computer Vision, 2003. 1-28.
- 8 Zhu Jigui, Zou Jian, Lin Jiarui, *et al.*. Error-compensation algorithm with high-accuracy for photographic image processing [J]. Acta Optica Sinica, 2012, 32(9): 0912004.
郝继贵, 邹 剑, 林嘉睿, 等. 摄影测量图像处理的高精度误差补偿法[J]. 光学学报, 2012, 32(9): 0912004.
- 9 C C Liebe. Star trackers for attitude determination [J]. IEEE AES Systems Magazine, 1995, 10(6): 10-16.
- 10 D Umbach, K N Jones. A few methods for fitting circles to data [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2003, 52(6): 1881-1885.
- 11 I L Guevara, J Munoz, O D Cozar, *et al.*. Robust fitting of circles arcs [J]. J Math Imaging Vis, 2011, 40(2): 147-161.
- 12 M A Fisher, R C Bolles. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography [J]. Graphics and Image Processing, 1981, 24(6): 381-39.

栏目编辑: 李志兰