

基于计算机视觉的电池表面探伤方法

徐建元*, 于鸿洋

(电子科技大学 电子科学技术研究院, 成都 611731)

(*通信作者电子邮箱 xjyhero@126.com)

摘要: 电池在生产过程中常常因为设备故障造成其表面产生各种伤痕,传统的人工检测在及时性和耐久性上存在很大缺陷,而现在国内外又缺乏一种针对普通电池表面缺陷的有效自动检测手段。针对电池表面缺陷的分布位置及形态特点,提出一种新的基于计算机视觉的光学自动检测方法。所提方法基于电池负极表面形态特征,利用Canny算子和原创的自由离子碰撞法配合最小值搜索确定待检测区域;针对伤痕比较尖利这一形状特征,用修正的Harris角点作为标记点标记缺陷位置,利用标记点的聚集度信息滤除伪标记点,最后提取出缺陷处图像。实验结果证明所提方法在自然光照环境下的检测成功率达到90%以上且比小波分析法具有更好的检测效果。研究成果为电池生产提供了一种产品质量自动检测的参考方法。

关键词: 缺陷;自动检测;电池;Harris角点

中图分类号: TP391.413 **文献标志码:** A

New engineering method for defect detection of batteries based on computer vision

XU Jianyuan*, YU Hongyang

(Research Institute of Electronic Science and Technology, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu Sichuan 611731, China)

Abstract: Equipment failure often brings some defects on the surface of batteries in the battery production process. The traditional artificial detection has weakness on the timeliness and durability. But there has not been any efficient automatic detection means for the ordinary battery by now. Concerning the distribution and morphological characteristics of the defects, a new automatic optical detection method based on computer vision was proposed. The proposed method used Canny operator and virtual granule collision method with the minimum value searching method to determine the area to be detected based on the battery anode surface morphology features. Considering the sharpness of the defect, Harris corner points were used to mark the defects as mark points. False mark points were filtered by the degree of aggregation of the points. The defect region would be extracted at last according to the location of mark points. The experimental results illustrate the detection success rate of the proposed method is over 90% and the method can work more efficiently than the popular wavelet analytical method. The study achievement provides a reference for product quality automatic detection on battery production.

Key words: defect; automatic detection; battery; Harris corner

0 引言

光学自动检测作为一种有效的产品质量辅助检测工具近年来被越来越广泛地应用于工业生产当中,它在及时性、可靠性和耐久性方面相比传统的人工检测有很大优势。国内外学者对光学检测技术做了大量研究,文献[1-6]介绍了光学自动检测技术在纺织物生产、TFT-LCD生产和集成电路封装中的应用。

在电池生产领域中,不易发觉的机器故障可能导致短时间内大量次品的产出。例如,据双鹿公司反映,曾经因为检测工人的一时疏忽导致设备在15 min内制造出上万节劣质电池,使公司蒙受极大损失。因此将光学自动检测技术应用在电池生产线上能够有效保证生产质量,降低工人工作强度。

遗憾的是,国内外尚无一种针对普通电池表面缺陷的有效自动检测方法。文献[1-4]中运用的小波分析检测法受到电池环形纹路的极大限制;文献[7]所述方法只适用于纽扣电池,且需要大量训练样本,对环境光要求较高;文献

[8-10]中适用于红外图像中的太阳能电池探伤,但同样未考虑普通电池在可见光学图像中的形态特征。针对目前研究现状与实际情况,本文提出了一种针对性强,对图像采集条件要求低,充分考虑电池表面形态的检测方法。

1 电池表面缺陷分析

图1展示了6种典型的电池表面缺陷。从这些图片可以看出,电池表面缺陷均由尖锐器械切割挤压所致,在图像上显示为缺陷处边界突显,存在大量尖利棱角,同时缺陷区域相比于相邻图像区域亮度偏暗。在缺陷分布上,这些缺陷无一例外都分布在电池负极表面的外边缘上。另外,经实际测定与图像分析,如果将电池负极表面看作为以中心点为圆心,中心点到最外边缘为半径一个圆。那么缺陷集中的外边缘区域可看作一个环形,其宽度为半径的17%。

上述分析均可用作电池表面探伤的先验知识。首先锁定检测区域为电池负极表面外边缘,而后针对缺陷区域多尖锐棱角这一特征用Harris角点检测来标记出缺陷区域。

收稿日期:2013-01-14;修回日期:2013-03-06。

作者简介: 徐建元(1987-),男,山东烟台人,硕士研究生,主要研究方向:数字图像处理; 于鸿洋(1963-),男,天津人,副教授,博士,主要研究方向:智能视/音频技术。

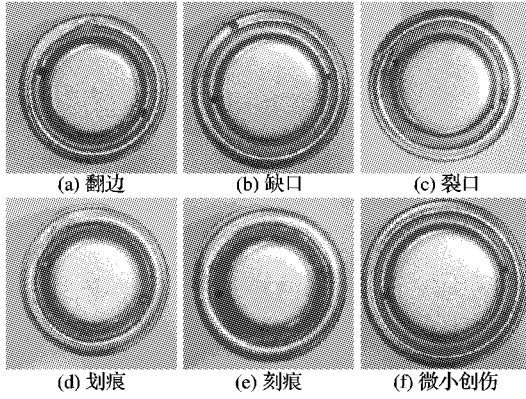


图1 6种电池表面缺陷

2 图像采集与预处理

虽然本文方法对图像采集时环境光要求不高,但是良好的光照条件能够有效提升检测质量。单色环形光源是本文所推荐光源。

图像采集设备的质量是另一问题,曝光时间短的采集设备能够有效抑制图像的运动模糊。当然,也可以通过其他手段比如模糊图像复原技术^[11-13]或“漏槽法”(在传送带上置一自动开阖的闸门,每隔固定时间闸门开启一次将电池漏入检测区域进行静态检测,此方法虽无法对产品逐一检测,但可防止大规模次品产出并降低对检测速率的要求)来消除或规避运动模糊对图像质量造成的影响。本文对运动模糊处理问题不多作讨论。一般工业摄像头足以作为采集设备。

图像采集完毕之后,需对待检测图像进行预处理。首先采用中值滤波和自适应局部直方图均衡方法降低噪声影响并提升图像对比度;之后对图像进行黑处理以突显缺陷区域。具体方法:将图像中所有低于最亮点强度值19%的像素点的强度值置零。

3 检测方法

要成功检测出电池表面缺陷,首先必须识别出待检测区域。图2给出了本文对电池负极表面区域的分割,检测区域被锁定在外环区。

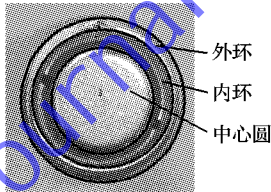


图2 电池负极表面区域分割

但是由于摄像头采集的是运动目标,因此运动模糊必然出现在所采集图像中。为了达到检测精度,必须通过一些手段来去除运动模糊。应对运动模糊方法在第2章中已给出,在此不作讨论。

在图像中确定检测区域第一步是利用边缘检测算子提取图像边缘信息,本文方法使用 Canny 算子进行边缘提取。为了确定外环区域,必须确定电池负极表面区域(这里默认电池负极俯视图为圆形)的圆心和半径。针对提取出的边缘信息,本文方法先提取出最外圈边缘,而后用最小值搜索法确定圆心,从而确定外环区域。

本文提出一种虚拟粒子碰撞法来确定最外圈边缘。虚拟

粒子碰撞法假设从图像的上、下、左、右边界以垂直于边界向内方向射出许多粒子,这些粒子碰到电池边缘就会停止运动。记录下这些粒子静止时的位置便可得到出电池最外边缘信息。其过程如图3所示。

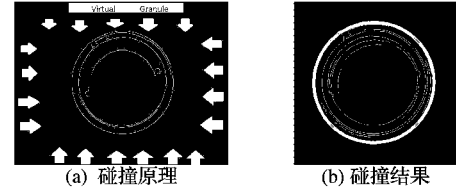


图3 虚拟粒子碰撞法示意图

外边缘确定之后,可按法则(1)确定圆心(由于拍摄时物体在图像中会产生畸变,因此外边缘只是一个近似的圆):

$$(x_0, y_0) = \min_{x, y \in Cin} \sum_{i, j \in O} d(C(x, y), P(i, j)) \quad (1)$$

其中: (x_0, y_0) 代表圆心坐标; d 代表欧氏距离; Cin 表示搜索区域(搜索区域确定法则:找出外边缘的最上、最下、最左和最右四个端点,以四点的中心点的基点建立 30×30 的搜索窗),代表外边缘点集; $C(x, y)$ 表示搜索区域内的点; $P(i, j)$ 表示外边缘上的点。圆心确定后,计算出圆心至外边缘上各点距离的最大值 L_m , 将其作为圆的半径。以圆心为原点建立极坐标系,径向坐标在 $(1-0.17) \times L_m$ 至 L_m 之间的区域就是外环待检测区域。

检测区域确定之后,本文利用 Harris 角点检测^[14]在检测区域中将缺陷处标记出来。Harris 角点检测所利用的核心思想是在角点处图像强度会在多个方向上发生强烈变化。在此首先在边缘信息图像中对一点建立高斯窗函数,观察当窗函数沿任意方向移动时图像强度是否会发生很大变化,如发生很大变化则该点被判别为角点。检测算法的数学表达式如下:

$$E(u, v) = \sum_{x, y} w(x, y) [I(x+u, y+v) - I(x, y)]^2 \quad (2)$$

其中: E 表示图像强度变化值能量函数; u 表示窗函数在水平方向上的位移; v 表示窗函数在垂直方向上的位移; $w(x, y)$ 是在 (x, y) 处的窗函数,等同于一个掩膜; $I(x, y)$ 是在点 (x, y) 处的图像强度; $I(x+u, y+v)$ 表示点位移后的图像强度。

运用泰勒展开,式(2)可简化为:

$$E(u, v) \approx \sum_{x, y} [I(x, y) + uI_x + vI_y - I(x, y)]^2 \quad (3)$$

$$E(u, v) \approx [u \ v] \left(\sum_{x, y} \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中: I_x 指点 (x, y) 处的水平方向梯度; I_y 指点 (x, y) 处的垂直方向梯度。

本文定义如下矩阵 M :

$$M = \sum_{x, y} w(x, y) \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中: λ_1 和 λ_2 为矩阵 M 的特征值。

角点度量值 R 由 M 定义:

$$R = \text{Det}(M) - k \text{Trace}^2(M) \quad (6)$$

$$\text{Det}(M) = \lambda_1 \lambda_2 \quad (7)$$

$$\text{Trace}(M) = \lambda_1 + \lambda_2 \quad (8)$$

其中: k 表示一个比例因子,一般取 $0.01 \sim 0.1$ 。

本文方法中,若一个点 (x_0, y_0) 满足 $R(x_0, y_0) > \delta \times R_{\max}$ (δ 表示一个0到1之间的比例因子, R_{\max} 为所有点的角点度量

值中的最大值)且 $R(x_0, y_0)$ 大于一个固定门限并为局部极大值, 该点就判定为角点。 δ 的选取在此需要注意, 为了尽量滤除因图像光照不均而造成的干扰, δ 的值应尽量大一些(大于 0.1)。

角点检测完毕后, 将角点标记在之前建立的极坐标系中, 筛选出分布于检测区域内的角点。为了保证判别准确性, 还须进行伪标记点滤除。滤除运用的先验知识是缺陷周围必然存在多个角点。根据这一先验知识, 本文方法去除掉那些空间位置孤立的角点: 若在图像中以某一个角点为圆心, 选取合适长度为半径(图像距离, 本文选取 20 个像素单位)的圆内未分布其他角点, 则将该角点滤除。

本文方法最后一步进行次品判定, 判定法则: 若在检测区域内存在两个以上角点, 受检样品就被判定为次品, 系统报警。

本文方法尚存在一个隐患: 因光照不均引起的聚集伪角点可能造成系统虚警, 因此本文方法在报警基础上还将缺陷所在的图像区域提取出来供人工确认以保证检测质量。缺陷提取所用的思想是: 角点在缺陷处分布最密集。

缺陷提取的具体方法如下:

第 1 步 随机选取检测区域内一角点, 将此角点作为初始类, 将该角点在极坐标系中的角度向坐标作为该类的特征值。

第 2 步 从未归类的角点集中随机选取一角点, 若该点的角度向坐标值与初始类特征值之差的绝对值小于阈值 A_s , 则将该点归入初始类, 以初始类内所有样本点角度向坐标值的均值更新初始类特征值; 若该点角度向坐标值与初始类特征值之差的绝对值大于阈值 A_s , 则按第 1 步所述方法以该点为基础建立一个新的类。

第 3 步 从未分类角点集中逐一取出角点, 按第 2 步归类法将取出的点与已有类的特征值逐一比较, 比较过程中若与某一类满足归类条件, 则立即归入该类并更新该类特征值; 否则建立新的类。

第 4 步 待所有检测区域中角点归类完毕后, 统计每一类中样本点数量, 选出含样本点数量最多且该类样本点数量大于 2 的一类, 该类特征值用 A_j 表示。将检测区域中角度向坐标在 $A_j - A_s$ 和 $A_j + A_s$ 之间的像素点提取出来进行显示。

本文方法的总体流程如图 4 所示, 其中: 图(b)表示对原始图像进行边缘信息提取并利用自由粒子碰撞法提取出最外圈边缘; 图(e)为分布在外环检测区的 Harris 角点(共 5 个,

该电池被判为次品)。

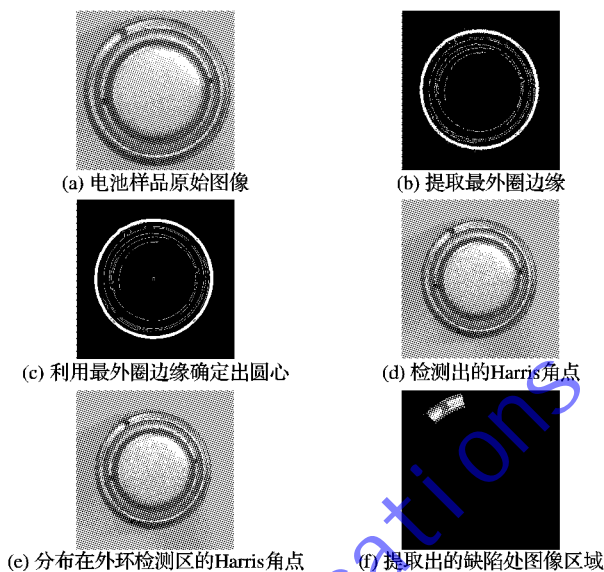


图 4 检测方法综合演示

4 实验结果与分析

受条件限制, 在实验过程中, 图像采集器材为 Sony DSC-T10 相机, 光照环境为自然光照, 处理设备为 ASUS BM 5200 计算机, 电池样品由双鹿公司提供, Canny 检测算子参数设为 $[0.2, 0.5]$, Harris 角点检测中 δ 为 0.4, A_s 取 $\pi/18$ 。

实验结果如图 5 所示。表 1 统计了检测成功率和检测耗时, 检测样本数为 20。

从实验结果中可以看出, 在强自然光照条件下除微小创口类缺陷外, 其余类型的缺陷均被成功检测并提取, 而微小创口类缺陷可在弱自然光照条件下被检测出。由此可以得出: 强光照条件下检测出无缺陷样品应置于弱光照条件下进行确认检测, 如此才能使本文方法达到最好检测效果。这里需要注意的是, 由于可测试样品数量为 20, 总数目较小, 才会出现 100% 成功率, 而实际情况不可能出现 100% 的成功率。本次实验的处理软件是 Matlab, 耗时略长, 如果利用硬件电路进行算法优化, 可大大降低运行时间。由于其他文献中很少涉及普通电池检测, 因此这里无法与其他方法比较, 数据供读者参考。

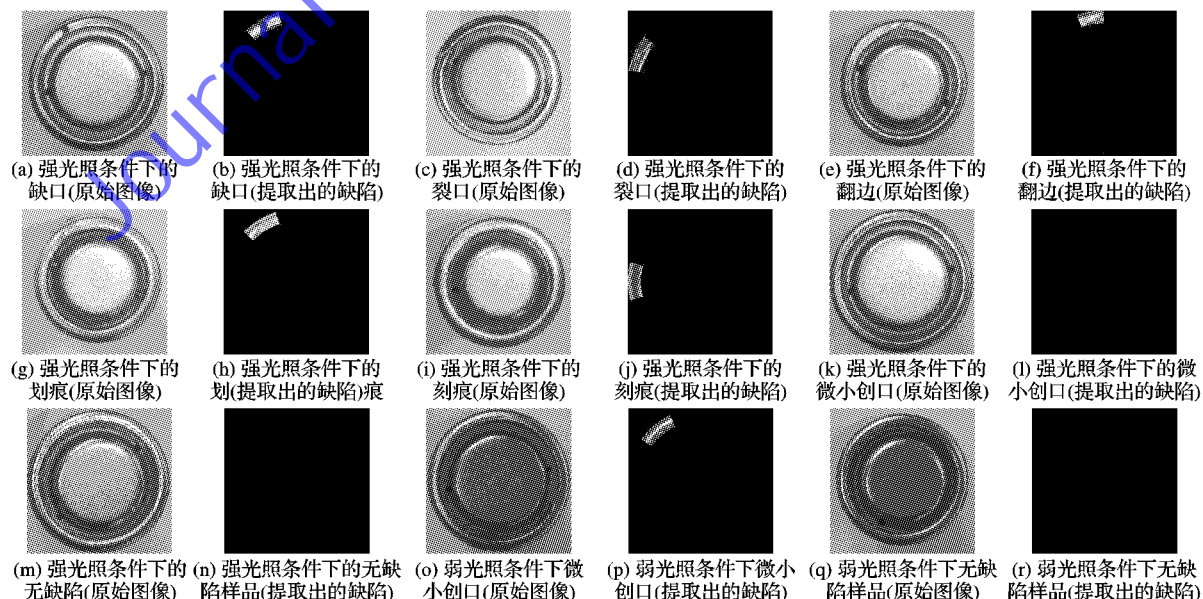


图 5 检测实验结果

表1 检测成功率与算法耗时统计

缺陷类型	报警成功率/%	提取成功率/%	平均耗时/s
缺口	100	100	24.71
裂口	100	100	24.62
翻边	100	100	24.58
微小创口	50	50	25.78
划痕	100	100	24.56
刻痕	100	100	24.43
无缺陷	100		23.11
平均	91.67	91.67	24.54

图6显示了翻边类裂口和缺口类缺陷电池样品的小波变换处理图样,实验中运用文献[2-3]中所提到的小波分割法对原始图像进行小波变换处理后进行阈值化。可以看出,不论哪一层重构图像,由于受到不均匀光照的影响,光照下的阴影部分会严重混淆缺陷的提取,因此无法通过阈值分割的方法得出缺陷区域,因此文献[2-3]中所述的小波分割法无法在较差的光照条件下有效实现对电池表面缺陷的准确检测。可见本文方法相比小波分割法具有更强的针对性和有效性。

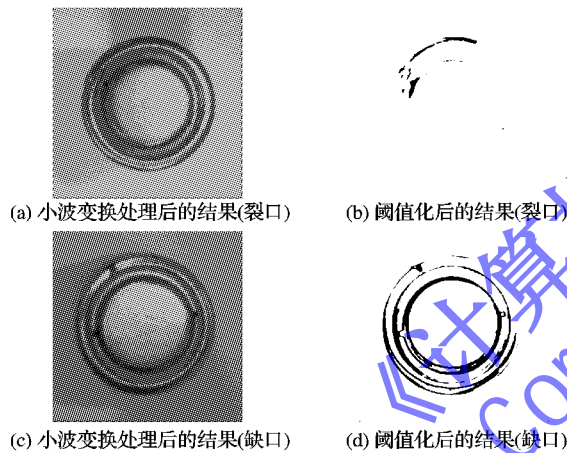


图6 小波分割法检测结果

5 结语

本文提出了一种新的电池表面探伤方法。该方法可实现对有缺陷电池报警并提取缺陷区域,实验证明本文方法的检测成功率达到90%以上。相比小波分割法,本文方法能够更有针对性地抵御光照不均的干扰实现成功检测。如果运用编码优化和硬件优化对本文方法加以改进和硬件加载,则可作为电池生产领域中产品质量检测的一种有效参考方法。

参考文献:

- [1] CHEN L F, SU C T, CHEN M H. A neural-network approach for defect recognition in TFT-LCD photolithography process [J]. IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing, 2009, 32(1): 1-8.
- [2] AJAY K. Computer-vision-based fabric defect detection: a survey [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2008, 55(1): 348-363.
- [3] YANG X, PANG G, YUNG N. Robust fabric defect detection and classification using multiple adaptive wavelets [J]. IEEE Proceedings on Vision, Image and Signal Processing, 2005, 152(6): 715-723.
- [4] LIU H X, ZHOU W, KUANG Q W, et al. Defect detection of IC wafer based on spectral subtraction [J]. IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, 2010, 23(1): 141-147.
- [5] OLIVEIRA H, CORREIA P L. Automatic road crack detection and characterization [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2013, 14(1): 155-168.
- [6] TSAI D M, WU S C, CHIU W Y. Defect detection in solar modules using ICA basis images [J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2013, 9(1): 122-131.
- [7] 王磊. 基于机器视觉的电池表面缺陷检测技术研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2011.
- [8] 张舞杰, 李迪, 叶峰. 硅太阳能电池纹理缺陷检测[J]. 计算机应用, 2010, 30(10): 2702-2704.
- [9] 柳效辉, 徐林, 肖晨江, 等. 基于 Matlab 的图像处理技术识别硅太阳能电池的缺陷[J]. 上海交通大学学报, 2010, 44(7): 926-930.
- [10] 张宏军, 刘堂友. 结合 PCA 和 SVM 的太阳能电池缺陷识别[J]. 电视技术, 2011, 35(21): 66-68.
- [11] JIA J Y. Single image motion deblurring using transparency [C]// CVPR'07: Proceedings of 2007 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Piscataway: IEEE Press, 2007: 1-8.
- [12] DAI S Y, WU Y. Motion from blur [C]// CVPR 2008: Proceedings of 2008 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Piscataway: IEEE Press, 2008: 1-8.
- [13] TAI Y W, HAO D, BROWN M S, et al. Image/video deblurring using a hybrid camera [EB/OL]. [2012-12-20]. <http://research.microsoft.com/en-us/UM/people/stevelin/papers/cvpr08tai.pdf>.
- [14] LE M H, WOO B S, JO K H. A comparison of SIFT and Harris corner features for correspondence points matching [C]// Proceedings of 2011 17th Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision. Piscataway: IEEE Press, 2011: 1-4.

(上接第1987页)

- [8] 文涛, 王宏力, 陆敬辉, 等. 基于星三角形外接圆的星图识别算法[J]. 传感器与微系统, 2012, 31(2): 74-76.
- [9] 孟靖. 大地天文测量星图定位与识别算法的研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2010.
- [10] van BEZOOIJEN R H. True-sky demonstration of an autonomous star tracker [C]// Proceedings of SPIE 2221, Acquisition, Tracking, and Pointing VIII. Bellingham, WA: SPIE, 1994: 156-168.
- [11] LINDSEY C S, LINDBLAD T, EIDE A J. Method for star identification using neural networks [C]// Proceedings of SPIE 3077, Applications and Science of Artificial Neural Networks III. Bellingham, WA: SPIE, 1997: 471-478.
- [12] HONG J, DICKERSON J A. Neural-network-based autonomous

star identification algorithm [J]. Journal of Guidance, Control and Dynamics, 2000, 23(4): 728-735.

- [13] 李立宏, 张福恩, 林涛. 一种基于遗传算法的全自主星图识别算法[J]. 光电工程, 2000, 27(5): 15-18.
- [14] 赵臻. 天文导航中星图预处理及匹配识别技术研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2011.
- [15] Concentric circles [EB/OL]. [2012-12-28] <http://math-world.wolfram.com/ConcentricCircles.html>.
- [16] Right ascension [EB/OL]. [2013-01-16] http://en.wikipedia.org/wiki/Right_ascension.
- [17] 樊巧云, 陆壮志, 魏新国, 等. 基于惯性比特征的三角形星图识别算法[J]. 红外与激光工程, 2012, 41(10): 2838-2843.