

基于图像处理的指针式仪表智能识别方法研究

杨志娟^{1,2}, 袁纵横¹, 乔宇², 代毅³, 胡放荣¹

(1. 桂林电子科技大学 电子工程与自动化学院, 广西 桂林 541004; 2. 中国科学院 深圳先进技术研究院, 广东 深圳 518055; 3. 深圳市博铭维系统工程有限公司, 广东 深圳 518029)

摘要: 针对仪表的智能识别方法在电力系统的工程应用, 利用图像处理的方法对指针式仪表的智能读数进行研究; 首先, 针对摄像头多视角、多距离的安装问题, 利用定向二进制描述符 ORB (oriented FAST and rotated BRIEF) 算法求解仪表模板图像与待测图像的透视变换矩阵, 用于定位指针旋转区域; 然后根据表盘灰度特征信息, 提出基于圆周区域的累积直方图法 (circle-based regional cumulative histogram, CRH) 对指针进行定位, 由指针偏转角度得到读数; 实验结果表明, 该方法对指针读数识别十分有效, 达到了实用化要求, 且具有实时性好和精度高的特点。

关键词: 智能读数; 指针式仪表; 透视变换; 图像处理

Research of Intelligent Recognition Method of Pointer Instrument Based on Image Processing

Yang Zhijuan^{1,2}, Yuan Zongheng¹, Qiao Yu², Dai Yi³, Hu Fangrong¹

(1. Guilin University of Electronic Technology, School of Electronic Engineering and Automation, Guilin 541004, China; 2. Shenzhen Institutes of Advanced Technology, CAS, Shenzhen 518055, China; 3. Shenzhen Bominwell System Engineering Co., Ltd, Shenzhen 518029, China)

Abstract: For engineering application of the intelligent recognition of the meters in electric system, this paper studied an intelligent reading method based on image processing for automatic pointer instrument. First, for the setup problem of the camera with multiple viewpoints and scales, a binary descriptor ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF) is utilized for getting the perspective transformation matrix between the template and the test images, and then locate the pointer rotation region. Second, according to the gray character information of the dial, a Circle-based Regional cumulative Histogram (CRH) method is proposed to finely locate the pointer, then the reading is obtained by the pointer deflection angle. The experimental results demonstrate that the method is of high efficiency and up to the engineering requirement. Meanwhile, the method is real time and accuracy for the pointer reading recognition.

Keywords: intelligence reading; pointer instrument; perspective transformation; image processing

0 引言

在电力系统变电站中, 有许多设备配置了仪表如气压表、温度表、油温表, 当中有很大部分仍为指针式仪表。目前记录仪表数据主要靠人眼观测, 检测效率低且精确度不高, 特别是长时间持续判读, 容易引起视觉疲劳, 从而导致误差的产生; 另外还有一些无法采用人工判读的场合。因此实现对指针式仪表读数的自动识别具有十分重要的现实意义。

目前国内对指针图像的处理与识别已开展了一些研究^[1-7], 现有的识别算法主要分为两大部分: 表盘区域定位和指针定位。对于表盘区域定位, 利用仪表表盘的形状特征, 通过模板匹配^[1]或椭圆拟合^[2]确定仪表表盘在图像中的基本位置, 虽然其算法具备一定的实时性和鲁棒性, 但变电站设备结构复杂, 采集到的仪表图像可能同时囊括了其它近似圆形的部件, 在使用椭圆检测算法时极易出现错误的检测结果, 且本文

研究的变电站仪表种类不同且摄像头需满足多视角、多距离的安装, 所以这些算法不适用于本文。在指针定位方面, 前人进行了大量研究, 主要有中心投影法^[3], 减影法^[4], 模板特征法^[1], Hough 变换法^[5], 最小二乘法^[6]及这些方法的联合应用^[7]。众多方法中, 中心投影法、减影法和模板特征法受图像噪声干扰影响较大, Hough 变换法容错性较好, 但对一些多符号多条纹等干扰的仪表并不适用, 且计算量及存储量均很大, 难以实时应用。

针对刻度均匀分布的圆形指针式仪表, 本文给出了一种新颖的基于图像的指针式仪表智能读数识别方法。首先, 对各个不同种类的仪表采集模板图像, 并获取各仪表的先验信息, 如表盘圆心和半径, 仪表最大、最小刻度值及位置, 指针半径及位置; 对于实时采集的仪表图像调取其相应模板图, 利用基于定向二进制简单描述符 ORB^[8] (oriented FAST^[9] and rotated BRIEF^[10]) 的算法, 求解模板与待测图像的透视变换矩阵, 用于定位指针旋转区域; 然后, 提出基于圆周区域的累积直方图法 (circle-based regional cumulative histogram, CRH) 对指针进行定位, 该方法计算预处理后的指针旋转区域内每一小扇形块的灰度平均值, 即生成一个累积直方图, 其最小值代表指针, 再由先验信息得到指针读数, 同时对指针不能被定位的图像进行了判别。此方法计算简单, 实时性好, 对光照具有较好的鲁棒性。方法流程图如图 1 所示。

收稿日期: 2014-10-09; 修回日期: 2014-11-20。

基金项目: 国家自然科学基金(91320101); 深圳市基础研究计划(JCYJ20120903092050890, JCYJ20120617114614438, JCYJ20130402113127496); 桂林电子科技大学创新团队项目。

作者简介: 杨志娟(1989-), 女, 广西桂林人, 硕士研究生, 主要从事图像处理及机器视觉方向的研究。



图 1 方法流程图

1 仪表模板的建立

本文主要研究变电站刻度均匀分布的圆形指针式仪表的自动读数, 变电站刻度仪表大致可以分为两大类型, 每一类型又根据表盘特征如量程、半径、颜色、字符等分为多种样式。如图 2 所示, 一类为指针长且粗的仪表, (a) 和 (b) 是其中两种样式, 另一类为指针短且细的仪表如 (c) 和 (d)。在摄像头和表盘安装在一条直线上时对各种仪表采集模板图像, 并通过获取图像点坐标建立各模板的先验信息, 如: 表盘圆心和半径, 仪表最大、最小刻度值及位置, 指针半径及位置。同时, 将模板仪表平移至图像正中间, 以方便后续指针读数识别。

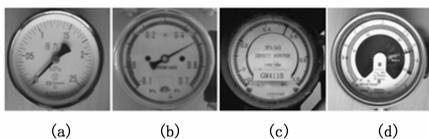


图 2 4 种仪表模板图像

2 基于 ORB 算法求解透视变换矩阵

ORB 算法是一种利用快速兴趣点检测算子 FAST 与基于二进制位的兴趣点描述算子 BRIEF 相结合的高性能局部特征提取算法。该算法具有同 SURF^[11] 算法相同的特征匹配性能, 对图像噪声、光照、旋转变换等具有较好的鲁棒性, 并且实时性很好。基于 ORB 算法求解透视变换矩阵, 首先检测图像的特征点并对其进行描述, 然后进行特征匹配, 最后利用匹配特征坐标位置信息计算透视变换矩阵。

2.1 特征点提取

ORB 采用 FAST 算子检测角点, FAST 检测的角点定义为: 在像素点的周围邻域内有足够多的像素点与该点有较大的灰度差异。FAST 本身有两个缺点: 1) FAST 没有角点响应函数, 并且具有很大的边缘响应; 2) FAST 不产生多尺度特征。针对这两个缺陷, ORB 的解决方法是: 1) 若想得到 N 个关键点, 先降低阈值得到多于 N 个候选点, 再用 Harris 角点检测对其进行排序, 取前 N 个点; 2) 使用图像中的尺度金字塔, 在金字塔每一层得到 FAST 特征。为了给检测到的角点加个方向信息, ORB 使用了一个简单有效的角点定向方法——灰度质心法来计算特征点的主方向。

在获取特征点尺度和主方向的基础上, ORB 采用 BRIEF 描述子对检测到的特征点进行描述, 其主要思想是: 在特征点附近随机选取若干点对, 将这些点对做二进制比较组合成一个 n 维二进制串作为该特征点的描述子, 本文取 $n = 256$ 。BRIEF 本身是无向的, 不具有旋转不变性, ORB 的解决方法是根据特征点主方向, 给 BRIEF 添加一个方向得到 Steered BRIEF, 接着执行一个贪婪搜索得到 256 个相关性最低的像素块对, 最终得到的描述子 rBRIEF 为 256 维由 0 和 1 组成的二进制比特串。

2.2 特征点匹配

在建立二进制描述符之后, 进行特征匹配, 通过比较描述符的相似性即可实现。对于 2 个二进制描述符的相似性, 可以使用汉明距离 (hamming distance) 来表示, 汉明距离的计算

使用按位异或运算实现, 对于 256 维的 2 个二进制描述符, 汉明距离取值在 0~256 之间。为了加快匹配速度, 采用基于 LSH (locality sensitive hashing)^[12] 的近似最近邻搜索算法寻找两个最近邻特征, 根据最近距离比准则来确定可能正确的匹配, 只有当最近邻距离与次近邻距离的比值 $T < 0.8$ 时, 才认为最近邻距离对应的特征点有可能为匹配点。

由于变电站背景环境复杂, 图像易受光照、阴影等影响, 且图像间存在透视变换, 在实验中, 我们对待测灰度图像提取 2 000 个特征点, 模板图像的仪表区域提取 1 000 个特征点, 能满足实际要求。且只有当匹配对数大于 8 时, 才视待测图像为有效的。

2.3 透视变换矩阵

特征点匹配之后, 利用匹配点对求解模板与待测图像间的透视变换矩阵。本文采用基于单应性矩阵 H (Homography matrix, 用于图像纠正和配准的线性变换矩阵) 的透射变换表示图像之间的关系, 变换式为:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = H \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \tag{1}$$

式中, x, y 分别为模板图像的行、列坐标, x', y' 分别为待测图像的行、列坐标, 即以待测图像为参考图像, H 为 3×3 的单应性矩阵。

考虑到对 ORB 特征的描述存在较大差异, 使用最近距离比准则得到的特征匹配对不一定是正确的匹配特征对 (inliers), 因此必须去除误匹配 (outliers)。本文采用 RANSAC^[13] 算法对原始匹配点集求解单应性矩阵, 并去除误匹配。

图 3 为模板图像与待测图像的特征点匹配图, 为了提高匹配率, 左边模板图像的特征点在仪表区域内提取, 在去除误匹配后, 模板与待测图像的匹配点分布在仪表区域内, 由匹配点坐标即可得到单应性矩阵 H , H 在后续指针定位时用于指针旋转区域的定位。

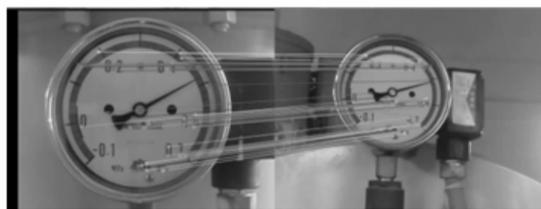


图 3 模板图像与待测图像的特征点匹配图

3 仪表指针定位

实际的表盘指针一般都是以轴心为圆心、指针长度为半径, 在一个圆周 (圆形或扇形) 区域内旋转的, 且大多数指针式仪表具有浅色表盘和深色指针与刻度, 指针和其他区域有明显的灰度差异。本文利用表盘的这一灰度对比特征及单应性矩阵 H , 提出基于圆周区域的累积直方图法 (circle-based regional cumulative histogram, CRH) 对指针进行定位。

3.1 图像预处理

仪表图像在获取过程中, 由于现场光线变化、周围物体投影和空间辐射等干扰, 往往包含大量的噪声。为提升图像质量和指针定位的精度, 采用 3×3 的高斯模板对仪表图像进行滤波, 去除尖锐随机噪声。由于平滑操作使得图像变得模糊, 再进行 Laplace 锐化处理, 图像对比度得到增强、细节变得清

晰,同时也很好地保留了背景色调。从实验经验来看,一般对锐化的图像再进行一次平滑处理,图像的视觉效果会更好。

3.2 CRH 定位指针

由仪表表盘特征可知,指针灰度值是其旋转区域最小的,且通过模板指针旋转区域和单应性矩阵 H 可定位待测图像指针旋转区域。由于表盘上的数字、符号与指针处于同一灰度等级,会对指针定位造成干扰,CRH 通过一个灰度阈值先将它们从模板图像上剔除,这样通过 H 映射到待测图像的指针旋转区域也只包含指针这一深色特征,再通过一个灰度累积直方图来定位指针偏转角度,同时对由于表盘玻璃反光或背景干扰使指针区域发白导致指针不能被定位的图像进行判别。该方法具有计算简单,耗时少的特点。如图 4 所示,具体实现步骤如下。

1) 由模板图像的圆心,指针半径及位置等先验信息,得到模板图像指针选旋转区域 $S1 = \{R1, P1\}$,其中 $P1$ 为指针区域(红色框内扇形区域), $R1$ 为剩余区域(黑色区域)。

2) 由模板表盘上的指针、数字、符号等深色特征,设定一个灰度阈值 T (本文取 100),将区域 $R1 = \{R11, R12 \dots R1i \dots R1n\}$ 从最小刻度值处开始划分成连续的小扇形块 $R1i$,每一小块占一角度,根据公式(1)利用单应性矩阵 H 将每一小块内灰度 $I(u)(u \in R1i)$ 大于 T 的点映射到待测图像指针旋转区域 $S2 = \{R2, P2\}$ 的对应区域 $R2 = \{R21, R22 \dots R2i \dots R2n\}$,这样区域 $R2$ 剔除了数字、符号等干扰特征。计算 $R2$ 每一小扇形块 $R2i$ 的灰度平均值 $M1i = (\sum I(v))/K(v \in R2i, I(u) > T, v = Hu, K$ 为 $R2i$ 内点的个数),由灰度平均值即生成一个基于圆周区域的累积直方图,取最小值 $Min1 = MIN\{M11, M12 \dots M1i \dots M1n\}$ 及其下标索引,最大值 $Max1 = MAX\{M11, M12 \dots M1i \dots M1n\}$ 。

3) 由于待测仪表和模板仪表的指针可能处在同一位置,所以步骤(2)中未考虑指针区域 $P1$ (否则该区域会被剔除),还须计算区域 $P2$ 的灰度平均最小值 $Min2$ 及其下标索引,及灰度平均最大值 $Max2$ 。

4) 统计 $R2i$ 内深色点的个数 $N1i = \sum v(v \in R2i, I(v) < T)$,取最大值 $N1 = MAX\{N11, N12 \dots N1i \dots N1n\}$,及区域 $P2$ 相应的最大值 $N2$ 。

5) 比较 $Min1, Min2$,较小者 Min 极大可能代表待测图像的指针,需要进一步判断。取 Min 对应的深色点个数 N ,若 $M1 < M2$,则 $N = N1$,否则 $N = N2$;比较 $Max1, Max2$,较大者为 Max 。若 $N < 0.5 \times K$,或 $Min/Max > 0.7$,则判定待测图像指针不能被定位。即:当可能处于指针区域的小扇形块的深色点个数大于其总点数的一半,且最小与最大灰度平均值的比值小于 0.7 时,才认为 Min 代表待测图像的指针,满足这两个条件则转到 6) 识别读数。

6) Min 对应的下标索引值为指针偏转角度 θ 。根据指针最大、最小刻度的位置信息确定指针旋转角度范围,由角度与刻度的线性关系可得到仪表的读数。

3.3 基于视频的仪表识别

对于应用于实际场景的实时仪表识别系统,往往需要对输入的视频进行读数。由于摄像头与仪表位置安装固定,短时间内 H 和指针位置都基本不变,若对视频图像每一秒取一帧进行识别,则可以每三秒为一个循环来减少识别时间。假设第一秒得到以待测图像为参考图像的单应性矩阵为 H_1 ,以模板图像为参考图像的单应性矩阵为 NH_1 ,指针偏转角度为 θ_1 ;第二

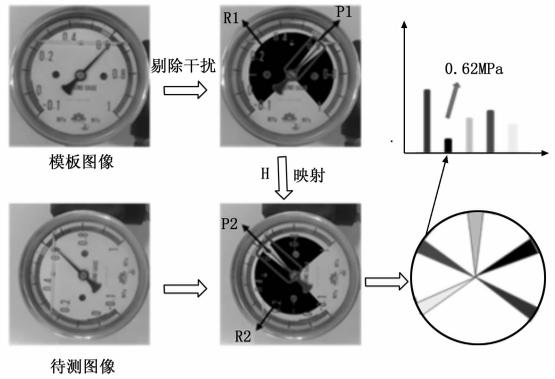


图 4 CRH 定位指针

秒直接利用 H_1 ,且在 $\theta_1 \pm 30^\circ$ 范围内执行 CRH 得到指针偏转角度为 θ_2 ;由于第三秒可能与第一秒存在微小的几何变换,则先根据 NH_1 将待测图像与模板图像进行配准,然后在模板图像与校正后的待测图像的仪表区域都提取 1 000 个特征点得到新的单应性矩阵 H_2 ,在 $\theta_2 \pm 30^\circ$ 范围内执行 CRH。这样通过避免计算每一帧的单应性矩阵、减少特征点提取个数与缩小指针识别范围,既大大减少了识别时间同时确保了读数的准确性。

4 实验结果

为了验证本方法的有效性,分别对实验室数据与变电站数据进行了测试,并将 CRH 与 Hough 变换法进行了比较。

4.1 实验室数据测试结果

实验所用计算机主频为 2 G,数字摄像头分辨率为 640×480 。表 1 是某天中午有阳光照射时对图 2 中表(d)的实验测试结果,该压力表的量程为 $-1 \sim 5$ MPa,精度是 0.01 MPa,模板仪表与摄像头距离 20 cm,视角基本成 0 度,待测仪表与摄像头距离 25 cm,视角成 20 度左右,将 6 人读数的平均值作为真实值。在实际工程应用中,指针角度的识别误差允许在 3° 以内,即表(d)允许的示值误差为 0.067 MPa,由表 1 可知,最大绝对误差为 0.02 MPa,达到了高精度仪表自动读数的要求,识别时间一般在 180 ms 以下,保证了系统的实时性。

表 1 对压力表(d)的实验测试结果

真实值/MPa	测量值/MPa	绝对误差/MPa	识别时间/ms
-0.23	-0.22	0.01	175
-0.71	-0.70	0.01	156
0.06	0.08	0.02	170
0.73	0.75	0.02	172
1.25	1.25	0.00	167
1.63	1.61	0.02	167
2.25	2.24	0.01	171
3.23	3.25	0.02	179
3.75	3.74	0.01	177
4.04	4.05	0.01	174

为测试本方法对视角与尺度的鲁棒性,在实验室对表(d)分别采集了多角度与多距离拍摄条件下的两组数据集,由实验结果绘制的误差曲线如图 5 所示,由图可知当角度和距离分别小于 60 度和 43 cm 时,最大绝对误差为 0.02 MPa,满足了摄像头实际安装的需求。

4.2 变电站数据测试结果

本文还对变电站现场采集的压力表进行了测试,如图 2 的表(b)和(c)。对两种压力表各选取 30 幅包含不同拍摄视

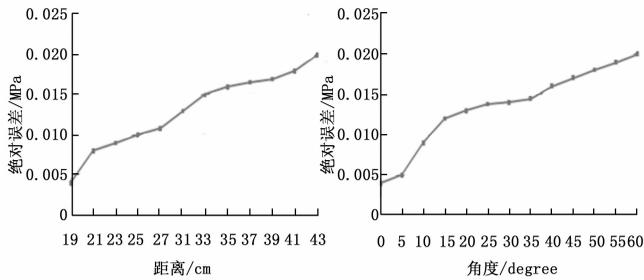


图 5 绝对误差曲线

角、距离、光照的图像进行测试，结果如表 2 所示，图 6 为表 (b) 的 30 幅图像。根据指针角度识别误差小于 3° 的指标，表 (b) 有 1 幅图像 (图 6 第二行第六列) 的读数不能被正确识别，正确识别率达到 $\frac{29}{30} = 96.7\%$ ，同理，表 (c) 的正确识别率是 93.3%，由此可知指针长粗的压力表正确识别率比指针短细的压力表高，因为短细的指针更容易受光照、模糊的影响。由于表盘玻璃反光或背景干扰可能使指针区域发白，这是影响正确率的最主要因素。总体而言，两种仪表的正确识别率均达到了实用化的要求。

表 2 对变电站两种仪表的测试结果

压力表	正确识别率/(%)	平均识别时间/ms
(b)	96.7	182
(c)	93.3	173

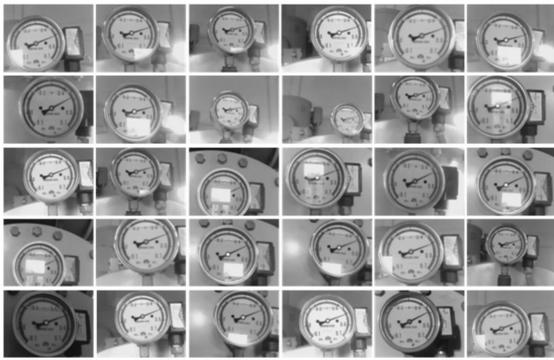


图 6 30 幅变电站表 (b) 图像

4.3 比较 CRH 与 Hough 变换法

利用 Hough 变换法定位指针的方法，通常的步骤是先将图像二值化、然后进行数学形态学处理 (图像的腐蚀、膨胀、细化)，再利用 Hough 变换检测指针直线。该方法容错性较好，但对一些多符号多条纹等干扰的仪表并不适用。如图 7 是对表 (b) 和表 (d) 分别进行 Hough 变换法与 CRH 的实验结果，Hough 变换法先将图像细化如图 (b)，图 (c) 中的长直线是在指针旋转区域内 Hough 变换已检测到的直线，其中包含了很多干扰直线，并且表 (d) 中的指针不能被检测到，这对指针直线定位造成困难，所以 Hough 变换法不适用于指针短细的仪表以及指针区域受干扰的指针长粗的仪表。较之，CRH 对于这两种情况能比较容易的定位到指针直线，有较好的鲁棒性。

5 结论

本文利用 ORB 二值特征提取算法得到仪表模板与待测图

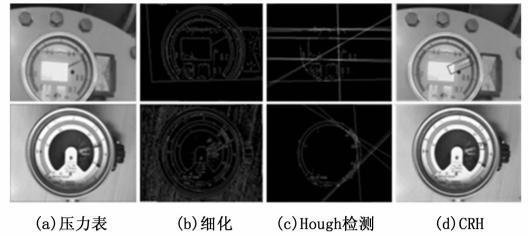


图 7 Hough 变换法与 CRH 的实验结果

像的透视变换关系，用于定位指针旋转区域，解决了摄像头与表盘目标不在一条直线上的视差问题，便利了摄像头多视角、多距离安装。提出基于圆周区域的累积直方图法 (CRH) 对指针进行定位，对于在实际生产应用中的圆形表盘来说，只要选择好圆心 and 半径等参数，确定指针旋转范围，就可以识别出指针实际读数。使用二值特征使得我们可以快速计算输入仪表图像与模板间的匹配关系，CRH 法有助于精确计算指针位置。实验表明，本方法识别精度高、实时性好，在电力系统的工程应用中，具有很好的应用前景。

参考文献:

- [1] 黄颖怡, 汪仁煌, 岳利军. 机器视觉仪表识别方法的研究进展 [J]. 自动化仪表, 2009, 30 (8): 58-60.
- [2] 马小菊, 李 勃. 指针式仪表自动判读研究 [D]. 昆明: 昆明理工大学, 2013.
- [3] 何智杰, 张 彬, 金连文. 高精度指针仪表自动读数识别方法 [J]. 计算机辅助工程, 2006, 15 (3): 9-13.
- [4] Alegria F, Serra A. Automatic calibration of analog and digital measuring instruments using computer vision [J]. IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement, 2007, 49 (1): 94-99.
- [5] 陈世伟, 李世平, 管京周, 等. 指针式电压表精度自动化检定系统的设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2005, 13 (11): 1192-1194.
- [6] 李学聪, 汪仁煌, 刘洪江. 指针表刻度中心直线拟合方法研究 [J]. 计算机工程与设计, 2009, 9 (1): 2726-2729.
- [7] 程 琦, 赵 军, 刘 宇. 指针式仪表表示值识别系统研究 [J]. 计量学报, 2009, 30 (5): 0192-0195.
- [8] Rublee E, Rabaud V, Konolige K et al. ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF [A]. International Conference on Computer Vision [C]. 2011: 2564-2571.
- [9] Rosten E, Drummond T. Machine learning for high-speed corner detection [A]. In European Conference on Computer Vision [C]. 2006, 430-443.
- [10] Calonder M, Lepetit V, Strecha C and Fua P. Brief: Binary robust independent elementary features [A]. In European Conference on Computer Vision [C]. 2010: 778-792.
- [11] Bay H, Tuytelaars T, Gool L V. Surf: speed up robust features [A]. Processings of the 9th European Conference on Computer Vision [C]. 2006, 3951: 404-417.
- [12] Lü Q, Josephson W, Wang Z, Charikar M et al. Multi-probe LSH: efficient indexing for high-dimensional similarity search [A]. In Proceedings of the 33rd international conference on Very large data bases [C]. 2007, 950-961.
- [13] 张志纯, 况立群, 韩 燮, 等. 一种改进的 RANSAC 图像拼接算法 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (6): 1856-1858.