

数字水准仪快速自适应相关匹配条码的定位方法

刘璐瑶, 黄秋红, 刘济铭, 赵敏

西安理工大学机械与精密仪器工程学院, 陕西 西安 710048

摘要 根据数字水准仪条码为不同宽度黑白交替出现的共性特征,提出了一种基于匹配图像与模板图像条数相同且等宽原理的快速自适应相关匹配条码定位方法。通过对实测图像进行灰度化、剪切与校正等预处理来获取待匹配条码灰度图像,根据待匹配图像与模板图像条数相同且等宽假设获取每次匹配时匹配图像缩放比例系数,并运用双线性插值方法将待匹配图像转换为与模板图像等宽的匹配图像,将自适应缩放实测图像与模板图像进行移位相关运算来实现条码的匹配与精确定位。水准测量高度实验结果表明:该方法充分利用了视场中条码图像整体信息,具有抗干扰能力强、不依赖编码规则、算法效率与精度高的特点,可广泛应用于不同编码规则条码标尺高度测量。

关键词 测量; 测绘计量; 条码定位; 相关匹配; 自适应缩放; 数字水准仪

中图分类号 TB92 **文献标识码** A

doi: 10.3788/LOP55.011203

Fast Adaptive Correlation Matching Barcode Location Method for Digital Level

Liu Luyao, Huang QiuHong, Liu Jiming, Zhao Min

*School of Mechanical and Precision Instrument Engineering, Xi'an University of Technology,
Xi'an, Shaanxi 710048, China*

Abstract According to digital level barcode's common characteristics of black and white alternation with different widths, a fast adaptive correlation matching barcode location method is proposed, which is based on equal stripe number and equal width between the matched image and the template image. The barcode grayscale image to be matched is obtained by preprocessing of graying, cutting and correcting of the proposed method. And every time the scale factor of the matched image is obtained according to the assumption of equal strip number and equal width between the matched image and the template image. The image to be matched is transformed to matched image with equal width as the template image using bilinear interpolation method. The matching and precise positioning of barcode are achieved after shift-related operation between the measured image of adaptive scaling and the template image. Leveling measurement experiment results show that this method makes full use of the whole information of barcode image, which has the characteristics of strong anti-interference ability, independence of coding rules, high algorithm efficiency and high precision, which can be widely used for height measurement of barcode level with different coding rules.

Key words measurement; mapping measurement; barcode location; correlation matching; adaptive scaling; digital level

OCIS codes 120.2830; 100.5010; 100.2000

收稿日期: 2017-07-28; **收到修改稿日期:** 2017-08-22

基金项目: 国家自然科学基金(51305346)

作者简介: 刘璐瑶(1992—),女,硕士研究生,主要从事图像处理及视觉测量方面的研究。

E-mail: liuluyao0217@163.com

导师简介: 黄秋红(1974—),女,博士,副教授,主要从事光电检测、视觉测量等方面的研究。

E-mail: huangqiuHong@xaut.edu.cn

1 引言

数字水准仪是一种可以实现水准测量数据采集、数据处理及数据记录的全程自动化的新型几何水准测量仪器。自1990年世界上第一台数字水准仪出现至今,其获得了迅速发展并且广泛应用于地形测量、建筑测量、工业设备安装、地壳形变监测等领域^[1-4]。运用数字水准仪实现高度测量,条码定位技术是关键,编码图像与高度之间具有一一对应的关系,信息不仅存在于各条码宽度相互关系中,而且条码宽度本身就携带位置信息^[5]。条码识别技术是条码定位的基础,条码的宽度由条码的两个边缘位置决定,因此完成条码识别的重点在于边缘检测^[6-8]。但是现行的边缘检测方法大都基于不显示的独立边缘假设,重点放在边缘检测过程中对噪声的抑制,而没有考虑模糊导致的邻近边缘相互作用的影响。早在1989年,Chen等^[9]就指出模糊函数的支持域大于相邻边缘距离的一半时,边缘检测将失效。对于高精度图像定位,特别是高密度条码图像,该问题不可回避。

图像相关匹配是数字图像处理研究和模式识别的一个重要领域,其最早出现在美国的军方导

航系统,后来逐渐被广泛应用于计算机视觉、医学图像处理、光学和雷达图像目标跟踪、文字读取识别等领域^[10-13]。Leica数字水准仪在远视距测量时,事先将代表水准标尺伪随机码的图像存储在数字水准仪内存中,作为参考信号^[14];条码标尺成像在电荷耦合器件(CCD)上形成测量信号,利用伪随机码的自相关特性,基于相关原理进行定位。在一个高度为0~4.05 m、距离为1.8~100 m的测量范围内,高度或距离上毫米级的微小变化,微处理器要做大约5000次的相关系数计算^[15],计算精度高,但计算量大。本文吸收Leica数字水准仪运用相关原理定位精度高的优点,对其大量冗余相关匹配造成计算量大的缺点进行改进,提出了一种快速、自适应的相关匹配方法。该方法充分利用条码图像黑白相间的共性特征,基于相关匹配图像黑白条目数相同且等宽的原理进行匹配图像缩放与改变相关匹配步距,从而实现实测图像与模板图像快速自适应准确匹配定位。

2 数字水准仪基本工作原理

数字水准仪是在传统光学水准仪的基础上发展起来的,其测量系统原理如图1所示^[16]。

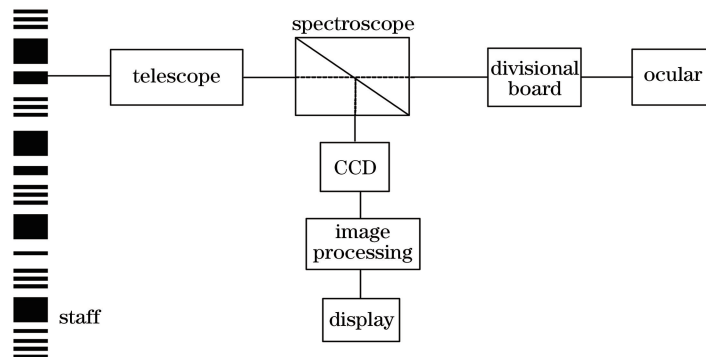


图1 数字水准仪测量系统原理图

Fig. 1 Diagram of digital level measurement system

在传统光学水准仪的望远镜物镜与分划板之间加一个分光棱镜,用条码标尺代替传统刻线尺,通过分光棱镜将条码图案分成两部分,一部分成像在分划板上,供测量人员通过目镜进行瞄准和调焦;另一部分成像在光电传感器(如线阵CCD)上,由微处理器进行图像处理和解析解码,得到并显示条码图像的高度信息。

3 基于相关运算的条码图像匹配定位原理

基于实测图像 A 和模板图像 B 具有相似的尺

度和亮度信息的图像相关匹配是图像处理领域广泛应用的一种图像识别定位方法。假设图像 A 、 B 像素均为 $m \times n$,则图像 A 、 B 之间的相关系数为

$$R = \frac{\sum_m \sum_n (A - \bar{A})(B - \bar{B})}{\sqrt{\sum_m \sum_n (A - \bar{A})^2 \sum_m \sum_n (B - \bar{B})^2}}, \quad (1)$$

式中 $\bar{A} = \frac{\sum_{1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n} a_{ij}}{m \times n}$, $\bar{B} = \frac{\sum_{1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n} b_{ij}}{m \times n}$, a_{ij} 、 b_{ij} 分别为 A 、 B 的元素。

水准标尺采用不等宽度的条码间隔进行高度的编码分划,任意一组局部段的编码组合在全体编码

组合中具有唯一性和不重复性。将获取的一组局部段的编码图像与标尺编码图像进行相关匹配定位后,可以确定该局部编码图像在整个编码图像中起始与终止高度位置信息。本研究以上述图像相关原

理为基础,利用编码标尺的全息性以及条码图像黑白相间的共性特征,提出一种快速自适应缩放移位相关匹配条码定位方法,该方法的基本原理和算法步骤如图 2 所示。

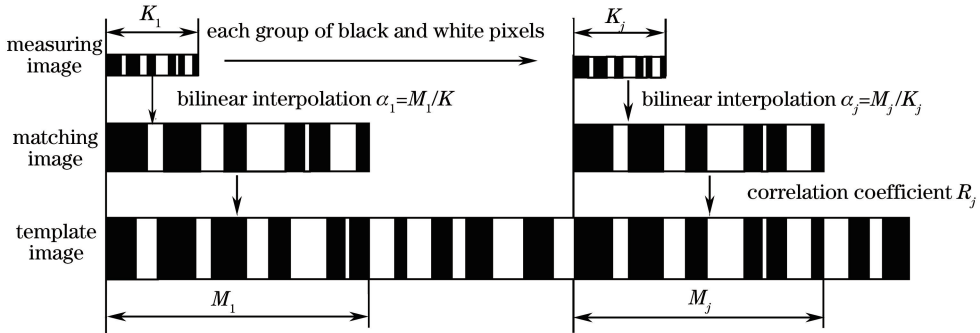


图 2 自适应缩放移位相关匹配条码定位原理图

Fig. 2 Adaptive scaling shift-related matching barcode location principle

3.1 实测图像的获取与预处理

利用数字水准仪获取条码标尺局部段条码图像,对获取图像进行灰度化、裁剪、旋转、二值化等预处理,获得两端为完整黑条码的待匹配实测图像 A (见图 2)。

3.2 实测图像双线性插值缩放

由于水准仪望远镜成像系统与标尺之间距离的不同,在 CCD 传感器上形成的实际图像尺度也就不同,因此,无法直接根据(1)式计算实测待匹配图像与模板图像相关系数。为此根据条码图像的共性特征,采用下述方法和步骤进行实测待匹配图像自适应缩放与双线性插值处理。

1) 将实测图像 A 与模板图像的黑条码边缘对齐,从模板图像中截取一段含有 G 个黑条码的图像作为匹配用模板图像 B 。

2) 计算实测图像缩放比例因子 a_j 。假设含有 G 个完整黑条码的实测图像 A 编码方向上的像素为 K ,模板图像 B 编码方向上的像素为 M_j ,则实测图像 A 缩放比例因子 a_j 为

$$a_j = \frac{M_j}{K}. \quad (2)$$

3) 对实测图像 A 按比例因子 a_j 进行双线性插值。根据(2)式所得比例因子 a_j ,采用双线性插值法将实测图像 A 缩放为与模板图像 B 等宽的待匹配图像,并将模板图像 B 高度设置为与待匹配图像等高。

假设实测图像 A 的像素为 $S \times K$,每个像素坐标为 (i, j) ,像素值为 $f(i, j)$,则按比例因子 a_j 对实测图像进行缩放后像素为 $S \cdot a_j \times K \cdot a_j$,根据双线性插值法将原图像像素值填充到缩放图像对应顶

点,然后根据填充图像各子块 4 个顶点坐标 (i, j) 、 $(i+1, j)$ 、 $(i, j+1)$ 、 $(i+1, j+1)$ 通过下面双线性插值公式计算其余点像素值:

$$f(i+u, j+v) = (1-u)(1-v)f(i, j) + u(1-v)f(i+1, j) + (1-u)vf(i, j+1) + uvf(i+1, j+1), \quad (3)$$

式中 u, v 为根据缩放因子确定的插值点位置浮点数, $0 < u < 1, 0 < v < 1$ 。

3.3 相关匹配运算与自适应移位处理

通过上述处理获得的待匹配图像与模板图像具有相同条码数和像素数,运用(1)式可得到首次匹配相关系数 R_1 ,然后将实测图像在模板图像上进行移位处理后,再按照上述处理过程获得下一步匹配的相关系数 R_2 ,直至全部移位匹配结束,获得所有匹配相关系数 R_i ,其中最大相关系数 R_i 对应位置即为最佳匹配位置。

传统移位相关匹配运算通常是以像素为单位进行移位,存在相关匹配运算量大的问题。本研究首先通过上述处理使待匹配图像与模板图像实现高度相等,因此只需在宽度方向进行移位匹配。基于条码图像共性特征与上述相关匹配原理,宽度方向移位采用步距等于模板图像每组黑白像素宽度的自适应移位策略。根据该策略确定的每次匹配移位步距,保证了匹配图像黑条码边缘对齐,同时将逐像素移位转变成以一组黑白条码为移位步距,大大减少了相关匹配的次數和运算量,实现了实测图像在模板图像上的快速、自适应相关匹配定位。

3.4 视线高计算

根据上述每次匹配相关系数计算结果可知,最大

相关系数 R_i 对应位置即为预处理实测图像在模板上的最佳匹配定位。下面运用该匹配定位结果通过几何修正得到视线高,其测量数据计算原理如图 3 所示。

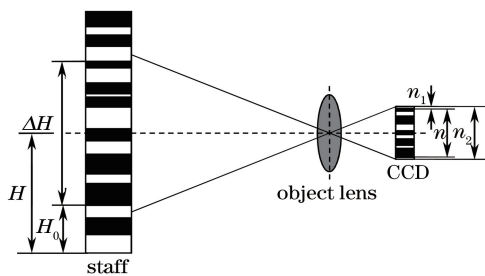


图 3 测量读数原理图

Fig. 3 Schematic diagram of measurement reading

假设 CCD 中全视场条码图像像素数为 n_2 , 从全视场中截取的两端为完整黑条码的待匹配图像段像素数为 n , 上部被裁剪掉的部分图像像素数为 n_1 。两端为完整黑条码的待匹配图对应条码标尺上的高差为 ΔH , 该黑条码下部边缘距离条码标尺最底端高度为 H_0 。根据图 3 所示正交投影成像原理, 可得到视线高计算公式:

$$H = \left(\frac{n_2}{2} - n_1 \right) \frac{\Delta H}{n} + H_0. \quad (4)$$

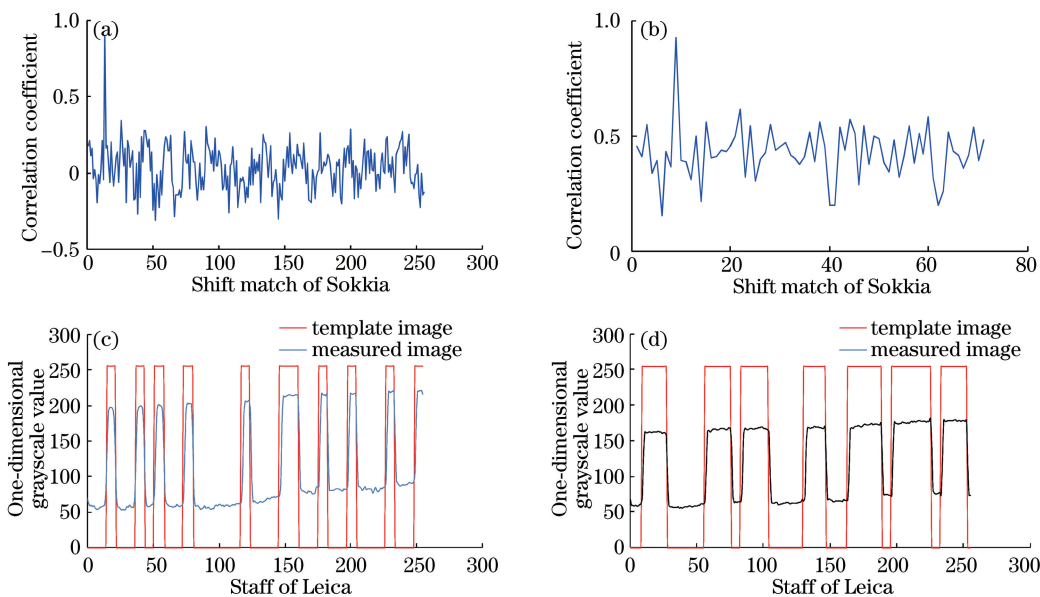


图 4 (a) Leica 和 (b) Sokkia 的移位匹配相关系数曲线; (c) Leica 和 (d) Sokkia 的实测图像与模板图像一维灰度曲线对比图

Fig. 4 Shift match correlation coefficient curves of (a) Leica and (b) Sokkia; comparison of one-dimensional gray curve of measured image and template image of (c) Leica and (d) Sokkia

根据匹配结果测量所得视线高部分实验数据如表 1~4 所示, 可以看出, 对长度为 2 m 的不同条码标尺, 运用该方法获得的视线高测量数据误差为 ± 0.4 mm, 4 种标尺视线高测量数据标准差分别为 0.1788, 0.1803, 0.1694, 0.1936 mm。表 5 列出了

4 实验结果及其分析

为验证该方法的可行性和正确性, 基于上述方法的基本原理和算法步骤, 结合裁剪、校正、去干扰等图像处理技术, 进行了高程测量实验。具体算法过程为: 软件系统读入原始图像文件后, 取行阵扫描图像, 通过条码标尺黑白规律跳变的特征进行条码区域定位、裁剪和校正, 再根据上述方法求出视线高。

实验选取了不同标尺的多个条码段进行测量, 其中 Leica 和 Sokkia 的实验结果如图 4 所示。图 4 (a) 和 (b) 分别是拍摄 Leica 和 Sokkia 两种条码标尺的一段条码图像与对应模板进行相关匹配所获得的相关系数变化曲线, 可以看出相关系数曲线的最大值点明显大于其他匹配点, 曲线最大值点为正确的匹配点。图 4 (c) 和 (d) 分别是 Leica 和 Sokkia 两种条码标尺正确匹配点对应的实测图像与模板图像一维灰度曲线对比结果, 实测图像与模板图像黑白条码边缘吻合度高, 进一步表明了匹配的正确性, 实测图像边缘较模糊会导致两条曲线重叠处存在偏差, 多次匹配实验结果表明该方法抗干扰能力强, 匹配误判率低, 可实现精确匹配定位。

Leica 和 Sokkia 两种标尺分别在 8, 15, 25 m 视距下完成测量所用移位次数和时间, 从中可以看出: 随着视距增大, 条码图像中所含条码信息增多, 每次匹配计算相关系数时运算量增大, 测量时间增长; 但条码信息增多可以减少完成匹配所需要的移位次数, 在

这一方面节省了测量时间,完成测量所用时间控制在 3 s 内,结果证明了该定位方法的有效性。

表 1 Zeiss 7 次测量实验结果

Table 1 Results of seven experimental measurements with Zeiss

mm

| Number of measurement | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|
| Value of theory | 295.000 | 322.250 | 705.000 | 832.250 | 930.400 | 1103.600 | 1269.000 |
| Value of experiment | 294.876 | 321.930 | 704.684 | 832.000 | 930.070 | 1103.214 | 1268.705 |
| Value of difference | 0.124 | 0.320 | 0.316 | 0.250 | 0.330 | 0.386 | 0.295 |

表 2 Topcon 7 次测量实验结果

Table 2 Results of seven experimental measurements with Topcon

mm

| Number of measurement | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|
| Value of theory | 258.500 | 357.500 | 427.500 | 690.500 | 817.500 | 1300.000 | 1530.000 |
| Value of experiment | 258.107 | 357.335 | 427.294 | 690.178 | 817.239 | 1299.600 | 1529.736 |
| Value of difference | 0.393 | 0.165 | 0.206 | 0.322 | 0.261 | 0.400 | 0.264 |

表 3 Sokkia 7 次测量实验结果

Table 3 Results of seven experimental measurements with Sokkia

mm

| Number of measurement | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|
| Value of theory | 273.750 | 321.500 | 528.250 | 870.250 | 993.000 | 1207.250 | 1438.250 |
| Value of experiment | 273.449 | 321.171 | 527.911 | 869.947 | 992.834 | 1206.970 | 1437.936 |
| Value of difference | 0.301 | 0.329 | 0.339 | 0.303 | 0.166 | 0.280 | 0.314 |

表 4 Leica 7 次测量实验结果







Table 4 Results of seven experimental measurements with Leica

mm

| Number of measurement | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Value of theory | 264.800 | 425.550 | 570.000 | 632.078 | 683.250 | 795.340 | 1095.000 |
| Value of experiment | 264.563 | 425.193 | 569.730 | 631.886 | 682.903 | 794.976 | 1094.732 |
| Value of difference | 0.237 | 0.357 | 0.270 | 0.192 | 0.347 | 0.364 | 0.268 |

表 5 不同视距下 Leica 和 Sokkia 测量所用时间和匹配次数

Table 5 Measuring time and matching times of Leica and Sokkia under different distances

| Distance /m | Barcode image | | Matching time | | Time /s | |
|-------------|---|---|---------------|--------|---------|--------|
| | Leica | Sokkia | Leica | Sokkia | Leica | Sokkia |
| 8 |  |  | 318 | 292 | 2.532 | 2.468 |
| 15 |  |  | 310 | 285 | 2.619 | 2.682 |
| 25 |  |  | 295 | 273 | 2.841 | 2.765 |

5 结 论

1) 提出一种基于匹配图像与模板图像黑白条码个数相同且等宽原理的相关匹配定位方法,通过自适应实时调整实测图像的尺度,解决了匹配图像与模板图像尺度不统一问题。

2) 该方法充分利用条码图像整体信息与正确相关匹配满足条件,确定了以每组黑白条码宽度为

相关运算移位步长的匹配策略,将逐像素移位转变成以一组黑白条码为移位步距,大大减少了相关匹配的次数和运算量,实现了实测图像在模板图像上的快速相关匹配定位。

3) 该方法基于数字水准仪条码标尺为不同宽度黑白交替出现的共性特征,具有算法不依赖编码规则、抗干扰能力强、测量精度高的特点,可广泛用于不同编码规则条码标尺高程测量,为解决数字水

准仪条码标尺和测量仪器不能互换使用的现状提供新思路,具有后续研究价值和实际应用价值。

参 考 文 献

- [1] Gong Zhenchen, Li Weifeng, Xue Chong. Survey accuracy analysis and application in the project of digital leveling instrument[J]. *Geomatics & Spatial Information Technology*, 2012, 35(2): 191-193.
龚真春, 李伟峰, 薛宠. 数字水准仪测量精度分析及其在工程中的应用[J]. *测绘与空间地理信息*, 2012, 35(2): 191-193.
- [2] Han Xianquan, Li Duanyou, Tan yong, *et al.* The application of digital level automated monitoring system in the dam deformation monitoring [J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2010, 35(3): 173-175.
韩贤权, 李端有, 谭勇, 等. 数字水准仪自动化监测系统在大坝变形监测中的应用[J]. *测绘科学*, 2010, 35(3): 173-175.
- [3] 黄金平, 潘元. DiNi12 数字水准仪在沉陷监测中的应用[J]. *矿山测量*, 2009(5): 78-80.
- [4] Rüeger J M, Brunner F K. On system calibration and type testing of digital levels[J]. *Zeitschrift for Vermessung Swesen*, 2000, 125(4): 120-130.
- [5] Joseph E, Pavlidis T. Bar code waveform recognition using peak locations [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1994, 16(6): 630-640.
- [6] Chen Gengbiao, Le Yunfei, Wu Jianzhong. Key algorithm of measurement system with digital level[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2008, 35(4): 69-73.
陈耿彪, 乐韵斐, 乌建中. 数字水准仪测量系统关键算法[J]. *光电工程*, 2008, 35(4): 69-73.
- [7] Song Rui, Zhang Hexin, Wu Yubin, *et al.* Image edge detection algorithm for laser active imaging[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2017, 54(8): 081007.
宋睿, 张合新, 吴玉彬, 等. 激光主动成像图像边缘检测算法研究[J]. *激光与光电子学进展*, 2017, 54(8): 081007.
- [8] Yang Junzhi. A new encoding and demodulation method for digital level[J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2005(3): 55-58.
杨俊志. 数字水准仪的通用编码和解码方法[J]. *测绘通报*, 2005(3): 55-58.
- [9] Chen J S, Medioni G. Detection, localization and estimation of edges [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence*, 1989, 11(2): 191-198.
- [10] Liu Li. Research on image matching and target location based on multi-scale feature [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2008.
刘立. 基于多尺度特征的图像匹配与目标定位研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2008.
- [11] Zhang Xin, Jin Yanxia, Xue Dan. Image matching algorithm based on SICA-SIFT and particle swarm optimization[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2017, 54(9): 091002.
张鑫, 靳雁霞, 薛丹. SICA-SIFT 和粒子群优化的图像匹配算法[J]. *激光与光电子学进展*, 2017, 54(9): 091002.
- [12] Liu Cong, Dai Yuntong, Dai Meiling, *et al.* Deformation measurement by two-dimensional multi-camera full-field digital image correlation [J]. *Acta Optica Sinica*, 2016, 36(12): 1212002.
刘聪, 戴云彤, 戴美玲, 等. 二维多相机全场数字图像相关变形测量方法[J]. *光学学报*, 2016, 36(12): 1212002.
- [13] Guo Guangming. Research on large-scale face recognition using opto-electronic hybrid matched filtering correlator [J]. *Chinese J Lasers*, 2013, 40(8): 0809003.
郭广明. 光电混合匹配滤波相关器的大规模人脸识别研究[J]. *中国激光*, 2013, 40(8): 0809003.
- [14] Jia Bingpu, Peng Xilin. Research on the LEICA DNA03 data processing [J]. *Engineering of Surveying and Mapping*, 2015, 24(2): 75-77.
贾丙普, 彭喜林. 徕卡 DNA03 数字水准仪数据处理研究[J]. *测绘工程*, 2015, 24(2): 75-77.
- [15] Ingensand H, Zürich E. The evolution of digital levelling techniques-limitations and new solutions [J]. *Importance of Heights Fig*, 1999: 59-68.
- [16] Yang Junzhi, Liu Zongquan. The principle and calibration for digital level [M]. Beijing: Mapping Press, 2005.
杨俊志, 刘宗泉. 数字水准仪的测量原理及其检定 [M]. 北京: 测绘出版社, 2005.