

文章编号 1004-924X(2013)12-3239-09

环状编码标记点的检测与识别

宋丽梅*, 陈昌曼, 陈卓, 覃名翠, 李大鹏

(天津工业大学 电工电能新技术天津市重点实验室, 天津 300387)

摘要: 针对近景摄影测量中对编码标记点进行精确定位并对具有唯一编码值的编码标记点进行解码识别的要求, 提出了一种环状编码标记点自动检测和识别算法。该算法首先对图像进行 canny 边缘检测, 通过一系列限制条件和计算封闭轮廓质心来过滤噪声和非编码标记点。然后, 采用最小二乘椭圆拟合进行编码标记点定位, 结合椭圆拟合误差判断分割编码标记点轮廓并进行填充。最后, 提出一种将局部同心椭圆变换为平行直线的 ALPC (Affine LOG Polar Coordinate) 变换, 对分割出的编码标记点进行 ALPC 变换, 利用变换后的图像特征进行解码。实验结果表明, 利用本文算法对于编码标记点的定位可以达到亚像素级别; 且当相机光轴与编码标记点法线夹角小于 60° 时平均识别准确率能达到 98.8%, 当夹角达到 70° 时识别准确率仍然能达到 90.2%; 在复杂背景下的识别准确率能够达到 96.46%。

关键词: 近景摄影测量; 编码标记点检测; 编码标记点识别; Canny 边缘检测; ALPC 方法; 解码

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20132112.3239

Detection and recognition of cyclic coded targets

SONG Li-mei*, CHEN Chang-man, CHEN Zhuo, QIN Ming-cui, LI Da-peng

(Key Laboratory of Advanced Electrical Engineering and Energy Technology,
Tianjin Polytechnic University, TianJin 300387, China)

* Corresponding author, E-mail: lilymay1976@126.com

Abstract: On the requests of coded targets in the close-range photogrammetry for precision position and decode recognition, an algorithm to automatically detect and recognize the cyclic coded targets was proposed. Firstly, the canny edge detection was used to process images, not only the noises but also the non-coded target were filtered by means of calculating the centroids of closed contours and a series of criteria. Then the least square ellipse fitting was taken to locate the coded target, and each coded target contour could be segmented and filled when the fitting error was satisfied. Finally, a transformation method named Affine LOG Polar Coordinate (ALPC) that has the property of transforming local concentric ellipses into parallel straight lines was proposed to transform each coded target for decoding. Experimental results show that the algorithm presented in this paper can locate the coded targets to a sub-pixel level, and the average recognition accuracy rate can reach 98.8% when the angle between the camera optical axis and the normal of coded target is less than 60° . Furthermore, the recognition accuracy rate can still reach 90.2% when the angle is 70° , and the recognition accuracy rate can reach 96.46% under the complex background. In conclusion, the algorithm proposed can fully

收稿日期: 2013-10-08; 修订日期: 2013-10-30.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 60808020; No. 61078041); 天津市应用基础及前沿技术研究计划资助项目 (No. 10JCYBJC07200)

satisfy the precision and accuracy requirements of coded target location and recognition in the close-range photogrammetry.

Key words: close-range photogrammetry; coded target detection; coded target recognition; Canny edge detection; Affine LOG Polar Coordinate(ALPC) method; decode

1 引言

在机器三维视觉测量中,大视场、多角度采集图像的匹配精确性是提高三维数据拼接正确率的重要环节。在图像匹配的过程中,要求对图像对应点进行精确的检测和识别。然而对于高分辨率的大视场图像,识别出两幅图像的对应点非常困难,这就需要借助一种具有唯一编码值的标记点,人为地贴在被测物体关键特征点上拍照,通过检测和识别编码标记点来对两幅图像的特征点进行识别。

目前为止,国内外专家学者在编码标记点设计和检测识别方面已做了很多研究。设计方面具有代表性的有 Schneider C T 和 Sinnreich K 设计的环状编码标记点^[1];Ahn S J, Pauh W 等人设计的点状编码点^[2-3];Ganci G 和 Handley H 设计的点分布式编码标记点^[4];Shortis M R 和 Seager J W 等设计的正方线形编码标记点^[5];Moriyama T 和 Kochi N 等人研究设计的一种带有颜色信息的编码标记点^[6];马扬飏和钟约先等人设计 8 位圆形编码标记点^[7];杨剑和韩建栋等人设计可纠错编码标记点^[8]以及本实验室设计的基于双环和象限的编码标记点^[9-11]。

由于受测量环境和编码复杂度等影响,在近景摄影测量中应用较广泛的有环状编码标记点和点分布式编码标记点两种。点分布式编码标记点的缺点是对于图像中的噪声、斑点和一定程度的变形比较敏感。环状编码标记点具有设计和制造简单,易于识别的优点,且具有良好的平移旋转,缩放无关性。所以本文使用十二位环状编码标记点,对其进行检测和识别算法的研究。

编码标记点的检测和识别是近景摄影测量的难点之一,目前国内外这方面的研究主要有(1)

Forbes K 使用编码标记点进行标定时提出了圆弧分割法^[12],此方法很容易导致分割不均匀,从而影响最终解码结果。(2)Ahn S J 等人对于点状编码标记点提出圆度形状因子法进行检测和识别^[2-3],但其对于大场景内的一些斑点状噪声无法滤除,影响编码标记点的检测与分割。(3)Thomas Doring 等人将 Forbes K 的十二位编码标记点应用在扫描仪标定中^[13],采用编码环分割法增大了采样的样本个数,但同时也增加了计算代价,并且此方法受拍照角度影响较大。(4)梁晋等人将环状编码标记点应用于相机标定中^[14-16],其解码方法对编码标记点的拍摄角度和环境要求较高。(5)王曼和叶正麟等人使用形态学算子进行识别^[17],但此法受拍照角度影响较大,且对于背景复杂的图像识别效果较差。

综上,寻找一种受拍照角度影响较小,且适用于环状编码标记点的同心椭圆这一形状特征的识别方法,在环状编码标记点的检测与识别方法研究中显得尤其重要。本文在椭圆最小二乘拟合^[18]的基础上,将仿射变换和对数极坐标变换^[19-21]相结合提出一种 ALPC(Affine LOG Polar Coordinate)变换,此变换适用于将同心椭圆这一局部形状特征转化为平行直线这种在二维图像中容易识别的形状,提高了识别速率和精度。

2 编码标记点和非编码标记点

十二位环状编码点的特征和尺寸如图 1(a)所示,其主要组成部分为内部白色圆标记点和外部均等 12 分的环状编码点构成,其中每个编码点在满足编码条件下可黑可白,以二进制 0 和 1 分别代表黑色和白色,如图 1(b)所示为 138 号编码标记点受拍摄角度的影响实际成像,圆成像为椭圆。以任意一位编码作为起始位顺时针读取产生

1 个码值,12 位共可以读取 12 个二进制数,选取这 12 个二进制数对应的十进制数中的最小值作为该编码环的编码值。12 位编码标记点,总共有 351 个编码方案。非编码标记点的特征和尺寸如图 1(c)所示,由白色圆标记点和黑色的圆环构成。对于一般性的大型工件,使用一套此编码标记点,配合非编码标记点基本能实现对工件关键特征点的标记,及对后续全局拼接误差的控制。



(a) 编码标记点 (b)编码标记点实际成像 (c)非编码标记点
(a)Coded target (b)Imaged coded target (c)Non-coded target

图 1 编码标记点与非编码标记点

Fig.1 Coded targets and non-coded target

3 编码标记点的检测与识别

将编码标记点从图像中分割出来是进行编码标记点识别的前提工作。在图像边缘检测的方法中,一般是通过 Sobel 算子、Roberts 算子、Prewitt 算子和 Kirsch 算子对图像进行边缘提取,这些算子的主要缺点是对噪声敏感,提取的边缘像素点连续性差,由于 Canny 算子产生单像素边缘,对噪声不敏感,因此本文采用 Canny 算子来对图像进行边缘提取。

3.1 去除噪声和非编码标志点

为了将编码标记点从图像中分割出来,需要采用一定的限定方法。本文主要采用轮廓面积和周长来去除噪声,用轮廓的质心来排除非编码标志点。用 Canny 算法提取完轮廓后,计算轮廓的周长 l 、面积 s 。设置合适的轮廓周长和面积阈值,删除不满足阈值条件的轮廓,对于满足阈值条件的轮廓计算其质心坐标。含有 N 个像素点的轮廓,其质心 (cx, cy) 为:

$$cx = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}, cy = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N}, \quad (1)$$

(x_i, y_i) 为轮廓上第 i 个像素点的坐标。当

任意两个轮廓的质心距离 $\delta < \delta_0$ 时,本文 $\delta_0 = 1$,同时过滤掉这两个轮廓,这样就可以将非编码标记点去除,从而初步达到将编码标志点分离出来的目的。

3.2 椭圆拟合方法和 ALPC 方法

3.2.1 最小二乘椭圆拟合

编码标记点在实际测量中,由于拍摄的角度问题,得到的中心标记圆绝大多数都是椭圆,为了得到标记点圆心位置以及对编码环解码需要对其进行最小二乘椭圆拟合。对于任意位置的椭圆,其方程记为:

$$f(x, y) = x^2 + Ax y + B y^2 + C x + D y + E = 0. \quad (2)$$

假设轮廓上点的个数为 $N(N \geq 6)$,对于这些点进行最小二乘椭圆拟合,则目标函数

$$F(A, B, C, D, E) = \sum_{i=1}^N f^2(x_i, y_i). \quad (3)$$

由极值原理,要使得 F 最小,则必有 $\frac{\partial F}{\partial A} = \frac{\partial F}{\partial B} = \frac{\partial F}{\partial C} = \frac{\partial F}{\partial D} = \frac{\partial F}{\partial E} = 0$,通过此式可解出参数 A, B, C, D, E ,则拟合完的椭圆方程被确定。

假设此椭圆的椭圆中心为 (x_c, y_c) ,长短轴半径分别为 a, b ,长轴与 x 轴的夹角即椭圆的偏角 θ ,则此椭圆方程还可表达为:

$$\frac{[(x-x_c)\cos\theta + (y-y_c)\sin\theta]^2}{a^2} + \frac{[(y-y_c)\cos\theta - (x-x_c)\sin\theta]^2}{b^2} = 1. \quad (4)$$

由式(2)和式(4)可得:

$$A = \frac{(b^2 - a^2)\sin 2\theta}{b^2 \cos^2 \theta + a^2 \sin^2 \theta}, \quad (5)$$

$$B = \frac{b^2 \sin^2 \theta + a^2 \cos^2 \theta}{b^2 \cos^2 \theta + a^2 \sin^2 \theta}, \quad (6)$$

$$C = -2x_c - A y_c, \quad (7)$$

$$D = -A x_c - 2B y_c, \quad (8)$$

$$E = x_c^2 + A x_c y_c + B y_c^2 - \frac{a^2 b^2}{b^2 \cos^2 \theta + a^2 \sin^2 \theta}. \quad (9)$$

从式(5)~式(9)可计算出拟合出的椭圆的 5 个基本参数:

$$x_c = \frac{AD - 2BC}{4B - A^2}, \quad (10)$$

$$y_c = \frac{AC - 2D}{4B - A^2}, \quad (11)$$

$$\theta = \arctan \sqrt{\frac{Bb^2 - a^2}{b^2 - Ba^2}}, \quad (12)$$

$$a = \sqrt{\frac{2(BC^2 + D^2 - ACD - 4BE + A^2E)}{(4B - A^2)(B + 1 + \sqrt{A^2 + (B - 1)^2})}}, \quad (13)$$

$$b = \sqrt{\frac{2(BC^2 + D^2 - ACD - 4BE + A^2E)}{(4B - A^2)(B + 1 + \sqrt{A^2 + (B - 1)^2})}}. \quad (14)$$

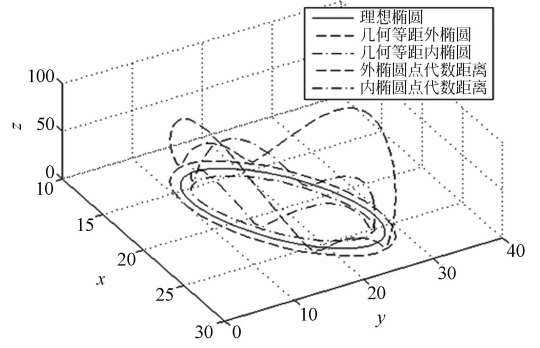
椭圆的最小二乘拟合技术主要是寻找参数集合,从而最小化数据点与椭圆之间的距离度量,这里的距离度量常见的有几何距离和代数距离。

几何距离表示某点到曲线最近点的距离,即法向距离。平面内某点 (x_0, y_0) 到方程 $f(x, y) = 0$ 所代表曲线的代数距离就是 $f(x_0, y_0)$ 。

对于轮廓上每个点 p_i ,其代数距离为 $f(x_i, y_i)$,几何距离见式(15):

$$d_{\min}^{(i)} = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2}. \quad (15)$$

图 2(a)所示为任意位置的理想拟合椭圆,和此理想椭圆法向几何等距线。图 2(b)所示为等距外线上的点和内线上的点到理想椭圆的代数距



(b) 等距线上点的代数距离

(b) Algebraic distance of equidistant lines

图 2 等几何距离与代数距离之间的关系

Fig. 2 Relation of algebraic distance and equidistant geometrical distance

离的绝对值。可以看出几何距离具有几何不变性,而距离理想椭圆几何等距的点之间的代数距离随着点分布位置的不同而有较大差异。所以本文使用点到椭圆的几何距离作为评价该点拟合误差的标准。

遍历所有轮廓点求取各个点的拟合误差,如果大于某阈值,将其视为非匹配点,当非匹配点个数与轮廓点总个数的比例达到阈值,则认为此轮廓椭圆拟合不符合要求,进行下一个轮廓椭圆拟合。

当达到椭圆拟合要求时,则此轮廓即为编码标记点的标记圆,以此椭圆的中心为中心,分割出长的正方形,此矩形中将包含此编码标记点的所有轮廓信息,并且填充封闭轮廓。

3.2.2 ALPC 变换

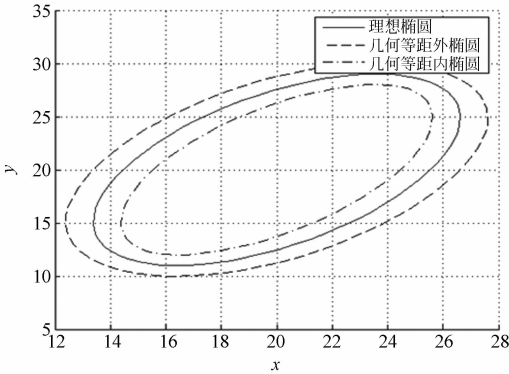
本文将仿射变换与对数极坐标变换结合,对于原图像 (x, y) ,如果变换中心为 (x_0, y_0) ,经过 ALPC 变换得到变换后的图像 (x', y') ,则变换关系如式(16)、(17)所示。

$$x' = M \log \sqrt{((x - x_0) \cos \theta + (y - y_0) \sin \theta)^2 + \frac{a^2}{b^2} ((-x + x_0) \sin \theta + (y - y_0) \cos \theta)^2}, \quad (16)$$

$$y' = \arctan\left(\frac{\frac{a}{b} ((-x + x_0) \sin \theta + (y - y_0) \cos \theta)}{(x - x_0) \cos \theta + (y - y_0) \sin \theta}\right). \quad (17)$$

为了使原图像沿变换中心径向的图像特征能

够很好地展现出来,在变换后的图像横向特征中进行了放大,其中 M 是一个缩放比例,本文中的 $M=20$ 。图 3 所示为同心椭圆经过 ALPC 变换之后形成的平行直线。其中变换中心为椭圆中心, a/b 为同心椭圆的长短轴比, θ 为同心椭圆的偏角。



(a) 理想椭圆与等距线

(a) Ideal fitting ellipse and equidistant lines



(a) 同心椭圆 (b) 经 ALPC 变换所得平行直线
 (a) Concentric ellipses (b) Parallel lines after ALPC

图 3 同心椭圆 ALPC 变换

Fig. 3 ALPC transformation of concentric ellipses

对于这种只需要检测局部特征, 使用 ALPC 变换将同心的椭圆变换成平行直线, 变换后的坐标系中纵向由上而下均匀对应原坐标系中顺时针方向角度, 所以在 ALPC 变换下, 无需对椭圆进行旋转分割来确定白环带和黑环带的分布进而进行解码, 使得解码计算简单而且解码正确率有很大的提高。

将分割出的编码标记点分割, 检测椭圆中心坐标变为 (x_0, y_0) , 其它参数均未变, 进行 ALPC 变换, 如图 4 所示为利用 ALPC 方法将分割出来的编码标记点进行变换后所得结果。

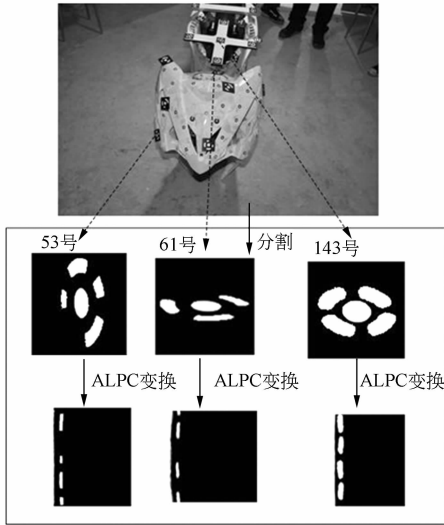


图 4 对分割后的编码标记点进行 ALPC 变换

Fig. 4 ALPC transformation after coded target segmentation

3.3 编码标记点的解码

编码标记点的解码是编码的逆过程, 是保证图像匹配精确性的重要环节。对于经过 ALPC 方法处理的编码标记点, 其结果呈现的是黑白块状整齐地排列在变换后的图像上, 我们称其为编码图。此编码图中的编码块从上到下的顺序对应着编码环顺时针排列的顺序。

编码标记点的解码如图 5 所示。在编码图中检测编码环带所在区域, 通过扫描区域中垂直方向直线, 获得各段黑白像素个数。假设有 M 块, 每段含有像素个数存放在数组 $P[M]$ 中, 同时与之对应的含有编码块黑白信息数组 $Flag[M]$, 其中 $Flag[i]=0$, 表示第 i 段为黑色, $Flag[i]=1$ 表示第 i 段为白色, $P[i]$ 为第 i 段像素的个数, 因为编码为循环编码, 所以如果 $Flag[M-1]=Flag[0]$, 则将头尾的像素个数合并, $P[0]=P[M-1]+P[0]$ 。调整后的数组 $P[M]$, 第 i 段的码值由 n_i 个 0 或者 1 组成, 当 $Flag[i]=1$ 时则由 1 组成, $Flag[i]=0$ 时则由 0 组成, 且 $n_i = INT(\frac{12P[i]}{height} + 0.5)$, 其中 $height$ 为变换后图像的纵向像素个数。最终计算出每块的 0 和 1 的个数, 顺序组成一个 12 位二进制数字, 以图 4 中 53 号编码标记点为例, 变换后图像的纵向像素个数 $height=135$, $P[M]=P[9]=\{8, 22, 33, 9, 9, 20, 10, 9, 1\}$, $Flag[9]=\{0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0\}$, 且 $Flag[8]=Flag[0]$, 所以调整后的数组为 $P[8]=\{9, 22, 33, 9, 9, 20, 10, 9\}$, 算出 $n_0=1$, 即第一个黑色段的码值为 1 个 0, 以此类推得 $n_1=2, n_2=3, n_3=1, n_4=1, n_5=2, n_6=1, n_7=1$ 。

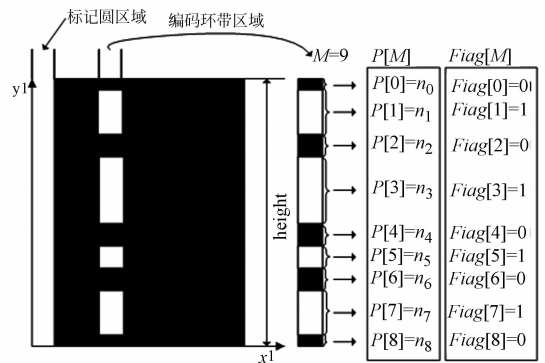


图 5 编码标记点解码示意图

Fig. 5 Sketch map of decoding

根据编码原则, 循环排序, 最后解出 53 号编码标记点的编码值为 000101101011 对应的十进制 363。

4 实验与结果分析

为了验证本文算法, 本节分别使用尼康 D90 相机和尼康 D70S 相机对三个不同场景下的编码

标记点进行检测识别实验。

为了验证本文算法受拍摄角度的影响,首先使用尼康 D70S 相机对只贴有编码标记点的平面,分别从相机光轴与平面法线角度为 $0\sim 80^\circ$ 进行拍摄,总共拍摄 80 幅分辨率为 $3\ 008\times 2\ 000$ 的图像。

当成像椭圆长短轴比越大,则表明相机光轴与编码标记点法线角度越大^[2],物体形貌的成像变形越明显。就编码标记点来说,当相机光轴与标记点的法线角度越大,编码标记点成像变形越厉害,变形的程度则会影响编码标记点的检测和识别。椭圆长短轴比和相机光轴与编码标记点法线夹角之间的关系如图 6 所示。

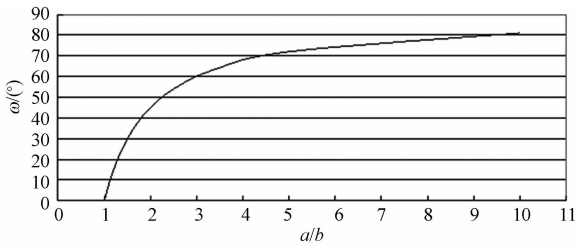


图 6 角度 ω 和椭圆长短轴比 a/b 之间的关系

Fig. 6 Relation between ω and a/b

利用本文算法进行检测识别,统计数据得出角度 ω 与识别准确率 P_{rec} 之间的关系如图 7 所示。其中角度为 60° 、 65° 、 70° 、 75° 、 80° 的编码标记点识别结果如图 8 所示。夹角小于 60° 时平均识别准确率能达到 98.8%,当角度大于 75° 识别的准确率迅速下降,但是当角度为 70° 时仍然能保持 90.2% 的识别准确率。

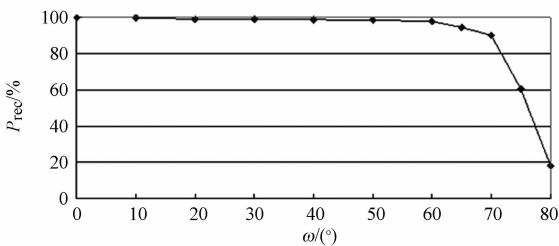


图 7 不同角度下编码标记点识别的准确率

Fig. 7 P_{rec} under different angles ω

为了进一步验证本文算法的有效性,使用尼康 D90 相机对喷有 DPT-5 显像剂,贴有编码标记点和非编码标记点的摩托车车架从不同角度拍摄,总共拍摄了 30 幅分辨率为 $4\ 288\times 2\ 848$ 的图像。由于对环状编码标记点的检测与识别研究较



(a) 60° 识别结果

(a) Recognition result with $\omega=60^\circ$



(b) 65° 识别结果

(b) Recognition result with $\omega=65^\circ$



(c) 70° 识别结果

(c) Recognition result with $\omega=70^\circ$



(d) 75° 识别结果

(d) Recognition result with $\omega=75^\circ$



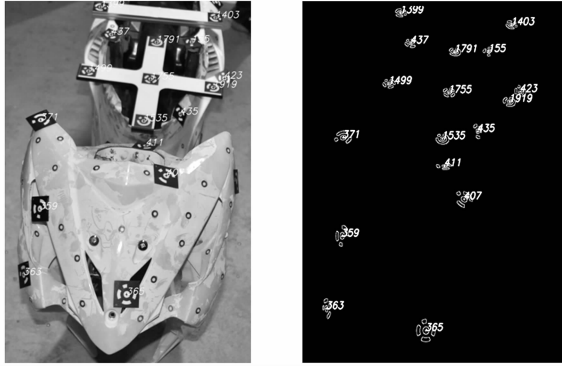
(e) 80° 识别结果

(e) Recognition result with $\omega=80^\circ$

图 8 不同角度下编码标记点识别结果图

Fig. 8 Recognition results under different angles

为经典和成熟的有文献[12]和文献[13],且文献[12]算法的鲁棒性较高,所以本文分别与文献[12]、文献[13]算法进行对比进行检测识别实验。以其中的一幅图像为例,利用本文的算法进行检测识别,识别结果的截图如图 9 所示。获得识别出的编码标记点的部分参数和两种算法解出的编码值如表 1 所示。



(a) 摩托车车架 (b) 识别结果
(a) Motorcycle frame (b) Recognition result of coded target

图 9 摩托车车架编码标记点识别结果

Fig.9 Coded target recognition results of motorcycle frame

从表 1 可看出,应用本文算法能对图像中编码标记点进行亚像素定位,利用文献[12]和文献

表 1 编码标记点的部分参数和识别结果

(“—”表示识别结果与实际编码值相同,“*”表示未识别出来)

Tab.1 Recognition results and part parameters of coded target

实际编码值	标记点中心	偏角 θ	长轴	短轴	本文	文献 [12]	文献 [13]
365	(2 010.34,190.20)	25.98	22.88	21.99	—	—	—
363	(1 320.62,1 773.33)	357.2	18.67	8.3	—	—	343
359	(1 427.56,1 348.40)	2.23	20.31	14.3	—	—	—
407	(2 275.36,1 131.48)	115.8	21.54	15.2	—	—	—
371	(1 434.31,771.72)	79.76	20.43	13.4	—	—	—
411	(2 139.86,936.61)	93.79	17.19	5.55	—	219	*
1 535	(2 124.46,777.90)	93.81	16.27	12.0	—	—	—
435	(2 369.32,734.44)	339.4	12.70	7.50	—	—	—
1 919	(2590.73,559.53)	98.66	14.06	9.32	—	—	—
423	(2 665.98,501.13)	292.8	13.86	6.76	—	—	—
155	(2446.24,266.75)	-87.1	12.67	8.65	—	—	—
1 403	(2 605.52,109.93)	-100	12.28	8.03	—	—	—
1 399	(1 835.87,39.21)	94.26	12.02	7.91	—	—	—
437	(1 906.62,217.29)	96.76	12.80	8.40	—	—	—
1 499	(1 753.18,454.34)	90.62	13.29	8.67	—	—	—
1 791	(2 210.07,268.35)	97.31	12.37	7.55	—	—	—
1 755	(2 169.67,507.19)	95.97	15.33	10.7	—	—	—

[13]中的算法进行检测和识别,文献[12]在(2 139,936)处的 61 号编码标记点则出现解码错误,文献[13]将 53 号编码标记点识别错误且识别不出 61 号编码标记点。从这些标记点的长短轴参数中不难看出,61 号和 53 号编码标记点长短轴比较大。

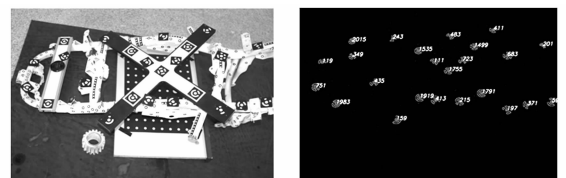
为了进一步验证本文算法的有效性,分别从解码的准确率,识别错误率,识别的速率与长短轴比进行数据统计。对所有拍摄 30 幅图进行数据统计,另从中随机抽样 10 幅图进行数据统计,得出结果如表 2 所示。可看出本文算法与文献[12]、文献[13]算法相比在解码准确率,识别速率上有所提升,且识别错误率和拍摄角度对识别结果的影响有所降低。

表 2 编码标记点识别实验的统计数据

Tab.2 Statistics of coded target recognition experiment

方法	照片长短轴比 a/b 所占比例	解码准确率/%	识别错误率/%	识别平均速率 s/幅
本文	$a/b > 3$ 的编码标记点占 8.5%	98.2	0.62	2.83
文献[12]		96.8	0.92	3.32
文献[13]		90.3	1.89	4.36
本文	$a/b > 3$ 的编码标记点占 13.4%	97.1	0.86	2.96
文献[12]		95.3	1.52	3.89
文献[13]		89.8	2.45	4.85

为了进一步验证本文算法的抗干扰性,使用尼康 D70s 对包含有各种干扰元素的复杂背景下环状编码标记点从不同角度拍照,总共拍摄了 50 幅图像。其中一幅图像,如图 10(a)所示,其识别结果如图 10(b)所示。对这些图像进行编码标记点的检测与识别,获得的统计数据如表 3 所示。



(a) 实验图像 (b) 识别结果
(a) Experiment image (b) Recognition result

图 10 复杂背景下编码标记点检测与识别实验

Fig.10 Experiment under complex background

结合表 2 分析表 3 的统计数据,可知本文算法在复杂背景下的识别准确率有所下降,但仍然

能达到 96.46% 的识别准确率。在复杂背景下本文算法的识别准确率仍然要高于文献[12]和文献[13],且识别速率也比文献[12]、文献[13]要快。

表 3 复杂背景下编码标记点检测与识别实验统计数据

Tab.3 Experiment statistics under the complex background

方法	识别准确率	误识别率	识别平均速率
	/%	/%	s/幅
本文	96.46	1.35	3.67
文献[12]	92.25	2.78	4.78
文献[13]	90.68	3.08	5.39

5 结 论

结合 canny 算子和椭圆拟合误差分析,本文提出了一种可以应用于编码标记点快速准确解码

的坐标变换方法。本文算法的主要优点为:1)将同心椭圆这一局部形状特征转化为平行直线这种容易检测和计算的形状特征,提高了编码标记点识别的速率。2)同其它算法相比受相机拍摄角度影响较小,提高了编码标记点识别的准确率。

综上所述,本文提出的算法能够提高编码标记点识别的效率,减小了相机光轴与编码标记点法线的角度对识别准确率的影响。编码标记点的定位能够精确到亚像素。当相机光轴与编码标记点法线夹角小于 60° 时,平均识别准确率能达到 98.8%;当夹角达到 70° 时,识别准确率仍然能达到 90.2%;在复杂背景下的识别准确率可以达到 96.46%,能够充分满足近景摄影测量中对控制点的精度要求。该算法为三维近景摄影的快速准确测量提供了强有力的保障。

参考文献:

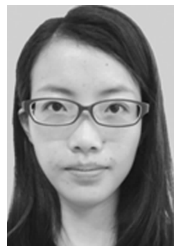
- [1] SCHNEIDER C T, SINNREICH K. Optical 3-D measurement systems for quality control in industry [C]. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 1993:56-59.
- [2] AHN S J, RAUH W, RECKNAGEL M. Circular coded landmark for optical 3D-measurement and robot vision [C]. *International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 1999:1128-1133.
- [3] AHN S J, RAUH W. Circular coded target for automation of optical 3D-measurement and camera calibration[J]. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 2001, 15 (6):905-919.
- [4] GANCI G, HANDLEY H. Automation in videogrammetry[J]. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 1998, 32: 53-58.
- [5] SHORTIS M R, SEAGER J W, ROBSON S, et al.. Automatic recognition of coded targets based on a Hough transform and segment matching [C]. *Proceedings of the International Society for Optics and Photonics on Electronic Imaging*, 2003: 202-208.
- [6] MORIYAMA T, KOCHI N, YAMADA M, et al.. Automatic target identification with the Color-Coded-Targets [C]. *The International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Beijing, WG*, 2008: 39-44.
- [7] 马扬飏,钟约先,郑聆,等. 三维数据拼接中编码标志点的设计与检测[J]. *清华大学学报:自然科学版*, 2006, 46(2):169-175.
- MA Y B, ZHONG X Y, ZHENG L, et al.. Design and recognition of coded targets for 3-D registration [J]. *J Tsinghua Univ: Sci&Tech*, 2006, 46 (2): 169-175. (in Chinese)
- [8] 杨剑,韩建栋,秦品乐. 视觉测量中可纠错的编码点识别及提取[J]. *光学精密工程*, 2012, 20(10): 2293-2299.
- YANG J, HAN J D, QIN P L. Correcting error on recognition of coded points for photogrammetry [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2012, 20(10): 2293-2299. (in Chinese)
- [9] SONG L M, ZHANG CH B, WEI Y Y, et al.. Technique for calibration of chassis components based on encoding marks and machine vision metrology [J]. *Optoelectronics Letters*, 2011, 7(1): 61-64.
- [10] SONG L M, ZHANG CH B, WEI Y Y, et al.. A new code flag method based on coordinate quadrant in vision measurement [J]. *SPIE*, 2011, 8194: 81940I-1-81940I-7.
- [11] 宋丽梅,张春波,陈华伟,等. 一种基于象限的编码标记点设计方法:中国,201010265892. X[P]. SONG L M, ZHANG CH B WEI Y Y, et al.. A new code flag method based on coordinate quadrant; China, 201010265892. X[P]. (in Chinese)

- [12] FORBES K, VOUGT A, BODIKA N. An inexpensive, automatic and accurate camera calibration Method [C]. *Proceedings of the Thirteenth Annual South African Workshop on Pattern Recognition*. PRASA, 2002: 1-6.
- [13] DORING T, MEYSEL F, REULKE R. Autonomous calibration of moving line scanners with coded photogrammetric targets recognition [C]. *ISPRS Commission V Symposium*, 2006: 84-89.
- [14] HU H, LIANG J, XIAO Z, *et al.*. A four-camera videogrammetric system for 3-D motion measurement of deformable object [J]. *Optics and Lasers in Engineering*, 2012, 50: 800-811.
- [15] 刘建伟, 梁晋, 梁新合, 等. 大尺寸工业视觉测量系统[J]. *光学精密工程*, 2010, 18(1): 126-134.
LIU J W, LIANG J, LIANG X H, *et al.*. Industrial vision measuring system for large dimension work-pieces [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(1): 126-134. (in Chinese)
- [16] 胡浩, 梁晋, 唐正宗, 等. 大视场多像机视频测量系统的全局标定 [J]. *光学精密工程*, 2012, 20(2): 369-378.
HU H, LIANG J, TANG ZH Z, *et al.*. Global calibration for multi-camera videogrammetric system with large-scale field-of-view [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2012, 20(2): 369-378. (in Chinese)
- [17] 王曼, 叶正麟, 陈作平, 等. 基于数学形态学的编码标志点识别算法[J]. *计算机工程与应用*, 2007, 43(36): 94-96.
WANG M, YE ZH L, CHEN Z P, *et al.*. Recognition algorithm of coded targets based on mathematical morphology [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2007, 43(36): 94-96. (in Chinese)
- [18] CHEMOV N, MA H. Least squares fitting of quadratic curves and surfaces [J]. *Computer Vision*, 2011: 285-302.
- [19] ARAUJO H, DIAS J M. An introduction to the log-polar mapping [C]. *Proceedings of Second Workshop on Cybernetic Vision. IEEE*, 1996: 139-144.
- [20] LIU B, LIU H, LUO X, *et al.*. *Speed Limit Sign Recognition Using Log-polar Mapping and Visual Codebook* [M]. Springer Berlin Heidelberg, 2012: 247-256.
- [21] JAVIER T V, BEMARDIO A. A review of log-polar imaging for visual perception in robotics [J]. *Robotics and Autonomous Systems*, 2010, 58(4): 378-398.

作者简介:



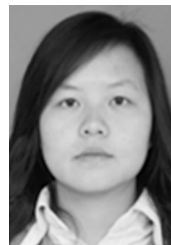
宋丽梅(1976—),女,河北秦皇岛人,教授,1999年、2001年和2004年于天津大学分别获得学士、硕士和博士学位,主要从事计算机视觉、三维光学测量、逆向工程和模式识别方面的研究。E-mail: lilymay1976@126.com



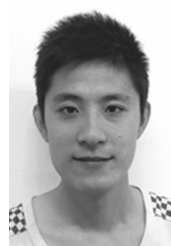
陈昌曼(1990—),女,安徽滁州人,硕士研究生,2011年于天津工业大学获得学士学位,主要从事图像处理、模式识别、三维测量方面的研究。E-mail: memory315ccm@163.com



陈卓(1988—),男,辽宁人,硕士研究生,2011年于天津工业大学获得学士学位,主要从事图像处理、机器视觉、模式识别方面的研究。E-mail: 846348142@qq.com



覃名翠(1988—),女,贵州黎平人,硕士研究生,2012年于天津工业大学获得学士学位,主要从事测试计量技术的研究。E-mail: gzqinmingcui@yahoo.cn



李大鹏(1987—),男,山东滨州人,硕士研究生,2012年于鲁东大学获得学士学位,主要从事图像处理、机器视觉和模式识别方面的研究。E-mail: ldp2025@163.com