

条盒三维视觉检测中结构光光条中心提取方法^①

杨晓亮¹, 夏营威², 董浩³, 王澍², 张文², 高震宇², 张龙², 刘勇²

¹(安徽省烟草质量监督检测站, 合肥 230022)

²(中国科学院安徽光学精密机械研究所, 合肥 230031)

³(国家烟草质量监督检验中心, 郑州 450001)

摘要: 为了提高基于结构光的条盒三维视觉检测中尺寸测量的准确度, 研究和提出了霍夫变换和最小二乘法相结合的结构光中心线提取方法. 首先, 依据图像颜色模型的 R 、 G 、 B 分量差值并结合中值滤波对目标结构光分进行分割提取; 其次, 分别对绿光与红光区域进行多次迭代细化处理获取骨架; 然后, 根据霍夫变换拟合的直线段对目标点集进行分类; 最后, 使用最小二乘法分别对不同的点集进行分段拟合, 获取结构光中心线. 实验结果表明, 该方法能够准确地提取出结构光光条中心, 具有良好的稳定性, 为条盒三维视觉检测工作提供了准确的数据依据.

关键词: 三维测量; 结构光; 最小二乘法; 霍夫变换; 曲线拟合

Extraction Method of Line Stripes Center in the Case 3D Vision Measuring System of Structured Light

YANG Xiao-Liang¹, XIA Ying-Wei², DONG Hao³, WANG Shu², ZHANG Wen², GAO Zhen-Yu², ZHANG Long², LIU Yong²

¹(Anhui Tobacco Quality Supervision and Inspection station, Hefei 230022, China)

²(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanism of CAS, Hefei 230031, China)

³(China Tobacco Quality Supervision and Inspection Center, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In order to improve the accuracy of case three-dimensional measuring system based on structured light, the extraction method of light stripes center based on Hough transform and least square was proposed. Firstly, the target structured light was segmented by the median filter and threshold segmenting method which uses the difference of R , G and B in color model. Secondly, multiple iterative thinning was used to deal with the green light area and red light area respectively to obtain their skeleton. Thirdly, the points were classified according to the lines which are obtained by Hough transform. Finally, least square was used to fit the points sectionalized and obtain the center line. A series of experiments have been performed to test the proposed method. It is proven that the proposed automatic extraction method is effective and advanced.

Keywords: three-dimensional measuring; structured light; least square method; Hough transform; curve fitting

烟草行业的自动化生产与检测是该行业当前发展的趋势. 目前, 香烟条盒的外观检测主要依靠人工测量的方式进行, 依靠硬件平台设施与图像处理算法的自动检测产品较少. 根据条盒尺寸的测量要求, 基于结构光的视觉检测技术能够在最大程度上还原目标模型并进行自动尺寸测量, 且相对简便、高效.

光条中心线是基于结构光进行三维视觉检测的

基础信息, 直接决定了重建结果的精度. 本工作受以下因素影响较大: 由于线激光由激光束经柱面拉伸后得到, 所以形成的结构光光照强度分布不均; 待测的香烟条盒表面颜色差异较大, 对激光的吸收强度不一, 导致光条宽度不均匀; 并且由于光学系统和电器元件的原因, 采集到的图像存在大量随机噪声及随机误差. 由于以上因素的影响, 做到光条中心的精确提取具有

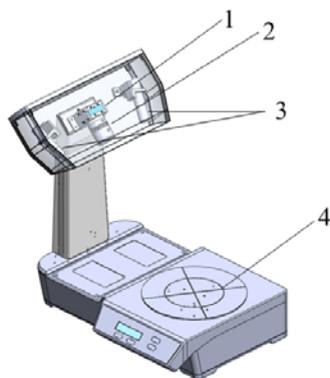
① 收稿时间:2013-10-23;收到修改稿时间:2013-11-18

一定的困难,目前常用的方法主要有形态学方法和曲线拟合方法^[1,2],对于斜率存在较大变化的结构光,这些方法在测量精度上有着一定的误差和局限性,容易导致目标像素点的坐标产生大幅度偏移。

在本文方法中,针对烟盒结构光的几何特点,依据图像颜色模型的 RGB 分量差值进行目标结构光分割提取,采用迭代细化方法分别对绿光与红光进行处理获取骨架,提出了使用霍夫变换与最小二乘法结合的拟合方法分别对斜率不同的点集进行拟合,实现了结构光光条中心线的精确提取,重建结果能够准确的反映烟盒的几何数据。

1 基于结构光的条盒三维视觉检测系统

能否准确的还原二维图像中每个目标像素点在世界坐标系中的坐标是进行测量的关键。本文实验中采用德国映美精公司 (Imaging Source) 的 DFK72AUC02 型号 CCD 相机进行图像采集;使用的半导体激光器波长为 650nm,输出功率为 16mW;镜头型号为日本理光公司(RICOH)的 C814-5M,焦距 8mm,分辨率为 500W 像素。图 1 为条盒三维视觉检测平台结构图。



1.相机 2.镜头 3.激光器 4.转台
图 1 烟盒三维重建实验平台

如图,在本文的条盒尺寸检测中,采用的是侧方向线激光器,激光器产生的激光经柱面拉伸后得到光平面,光平面在侧方向上与被测物体两个表面相交,得到一条目标结构光。图像采集方向与形成的结构光方向成一定角度,所以结构光在二维图像中表现为折

线。当物体在转台上匀速旋转一周后,激光器便完成对物体的 360 度扫描,物体每旋转一度,图像采集一帧。

2 结构光中心亚像素检测

在图像上,结构光光条表现为具有一定像素宽度的像素点合集。在基于结构光的三维重建中,对于每一条光条,我们只取最能够准确反映物体表面当前坐标信息的像素点,即光条中心线。

2.1 结构光光条分割

由于光学系统、电器元件和各种外部条件的影响,采集到的图像上存在大量椒盐噪声和部分冲击噪声。根据噪声的模型及结构光光条特点,本文采用中值滤波对初步采集到的图像进行增强处理,有效的滤除了大部分的椒盐噪声^[3,4]。基于图像目标的颜色信息进行图像分割,是基本的目标提取方法,在特定的环境中能够稳定,高效地获取目标信息,达到应用目的^[5,6]。

为了避免在旋转扫描过程中产生视觉死角,本文实验中同时采用红色激光与绿色激光对目标进行交叉扫描,所以分割提取的目标分别为红色与绿色两条激光光条。通过对结构光光条像素的量化分析,统计目标与背景间颜色分量的灰度分布差异,本文使用了基于 R、G、B 分量差值的阈值分割方法在图像颜色空间进行分割处理,提取出目标结构光,原理如下:

$$\begin{aligned}
 T_1 &= P_R \times 3 \\
 T_2 &= P_G \times 3 \quad T_3 = 230 \\
 P_S &= \begin{cases} 255, (P_R > T_1 \mid P_R > T_3) \\ 155, (P_G > T_2 \mid P_G > T_3) \\ 0 \quad (P_R > T_1 \& P_G > T_2) \\ 0 \quad ELSE \end{cases} \quad (1)
 \end{aligned}$$

这里 P_R 、 P_G 、 P_B 分别为目标像素的 R、G、B 颜色分量; $P_S = (P_R \times 0.3 + P_G \times 0.59 + P_B \times 0.11)$ 为灰度图像上像素灰度值; T_1 、 T_2 、 T_3 为分割阈值。最后,在二值图像上计算灰度级为 255 和 155 的连通域的面积,并滤除小面积的离散噪声。最终获得灰度级为 155 的红光区域及灰度级为 255 的绿光区域。

2.2 骨架提取

为获取目标点集,本文实验采用击中击不中变换方法对结构光光条进行初步细化处理^[7,8]。采用设定的结构元素遍历待处理图像,通过击中与击不中变换标记结构元素内的像素点,进行连续迭代处理,并删除被标记像素,最终得到细化的图像。细化是具有方向

性的,在实际操作中我们采用八个方向的结构元素,分别使用八个方向的结构元素对图像进行迭代处理后,可以准确的获取光条对称的骨架信息.图 2 为八个方向的结构元素对的示意图.

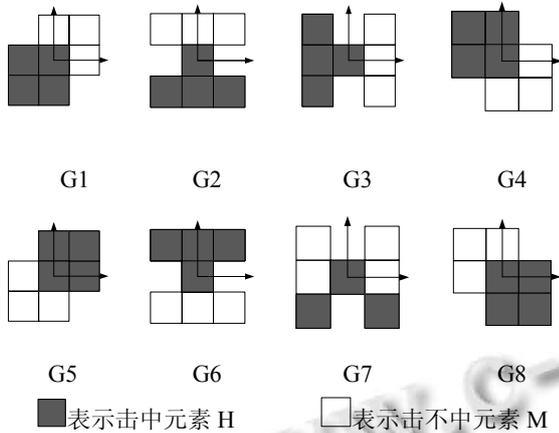


图 2 八个方向的结构元素对示意图

2.3 分段曲线拟合

由于目标光条分割获取的光条边缘不光滑、对称性较差,细化处理获取到的骨架会有一定程度的弯曲和明显的毛刺,其像素与原图光条中心不存在一一对应关系.根据本实验结构光特点,结合具体精度要求,本文在以上步骤的基础上进行了分段曲线拟合.

霍夫变换中得到的直线是基于通过最多的数据点的线段^[9,10],而最小二乘法拟合的直线是计算所有数据点距离拟合直线的平方和最小^[11].本文实验对象不能够单独使用上述方法:其一,分割出来的目标结构光具有一定的宽度,直接进行霍夫变换获得的直线位置与目标中心线相差较大.其二,我们实验的目标大部分为折线线段,直接最小二乘拟合,结果误差较大.

根据区域内结构光的线性分布特点,为做到点集坐标的精确计算,本文实验采用了霍夫变换与最小二乘法相结合的方法.首先,采用霍夫变换对不同线段的点集进行分类,然后根据最小二乘曲线拟合原理拟合不同区域点集内的点.本文实验方法的具体实现步骤如下:

2.3.1 霍夫变换

霍夫变换的原理为统计图像上的各个目标像素点的坐标位置,分别计算每个像素点可能在的直线的相关参数,然后通过对所有像素点的参数进行归类计算,

并将符合要求的参数作为最后输出直线的参数.依据公式对目标像素点 $C(x_m, y_m)$ 进行霍夫变换 ($m=1,2,3 \dots M, M$ 为像素点数量),可得候选直线集合 (ρ_n, θ_n) ($n=1,2,3 \dots N, N$ 为拟合出的直线数量),对于点集的霍夫变换公式如下:

$$\rho_n = x_m \cos \theta_n + y_m \sin \theta_n, \quad \rho \geq 0, 0 \leq \theta \leq 2\pi \quad (2)$$

这里, ρ 为直线与原点的距离, θ 为直线与 x 轴的夹角.令 $a_n = -\frac{\cos \theta_n}{\sin \theta_n}, b_n = -\frac{\rho_n}{\sin \theta_n}$

则斜截式方程为:

$$y_m = a_n x_m + b_n \quad (3)$$

2.3.2 线段归类

对变换后获取的直线集合 (ρ_n, θ_n) 进行归类计算.集合 C 中每个点 (x_m, y_m) 到目标直线的距离可表示为:

$$d_{mn} = \frac{|a_n x_m + b_n - y_m|}{\sqrt{1+a_n^2}} \quad \{n=1,2,3 \dots N; m=1,2,3 \dots M\} \quad (4)$$

2.3.3 点集分类

将 d_{mn} 与距离阈值 T 进行比较,当 $d_{mn} < T$ 时,将当前点归类为 C_i ,标记值为 i ; 这里 $i = \{1,2,3 \dots S\}$.

2.3.4 曲线拟合

对点集进行了分类后,单个子集内点的分布基本服从高斯分布,进行分段曲线拟合能够最真实的反映出目标表面的形态特点.对于点集 C_i ,设高斯函数^[12]如下:

$$f(x) = A \cdot e^{-\frac{(x_1-x_2)^2}{D^2}} \quad (5)$$

两边同时取对数,可得:

$$\ln f(x_i) = \ln A - \frac{x_i^2}{D^2} + \frac{2x_z}{D^2} \cdot x_i - \frac{x_z^2}{D^2} \quad (6)$$

$$\text{令 } Y_i = \ln f(x), a_0 = \ln A - \frac{x_z^2}{D^2}, a_1 = \frac{2x_z}{D^2}, a_2 = -\frac{1}{D^2} \quad (7)$$

$$\text{得到二次拟合函数: } Y_i = a_0 + a_1 \cdot x_i + a_2 \cdot x_i^2 \quad (8)$$

$$\text{则中心点横坐标为: } x_z = -\frac{a_1}{a_2} \quad (9)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 \\ 1 & x_2 & x_2^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_n & x_n^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} \quad (10)$$

根据最小二乘原理求得常数 a_0, a_1, a_2 将其分别带入式 (9),可求得中心点 x_z 的坐标.

3 实验结果与分析

本文所提出的算法在计算机(2.90 GHz, 2 GB)上使用 Visual studio 2008 编程, 利用 CCD 相机采集图像. 为验证算法的性能我们进行了目标结构光中心线提取实验和提取方法对比实验, 并对算法的性能进行了测试与分析.

实验一: 结构光中心线提取实验

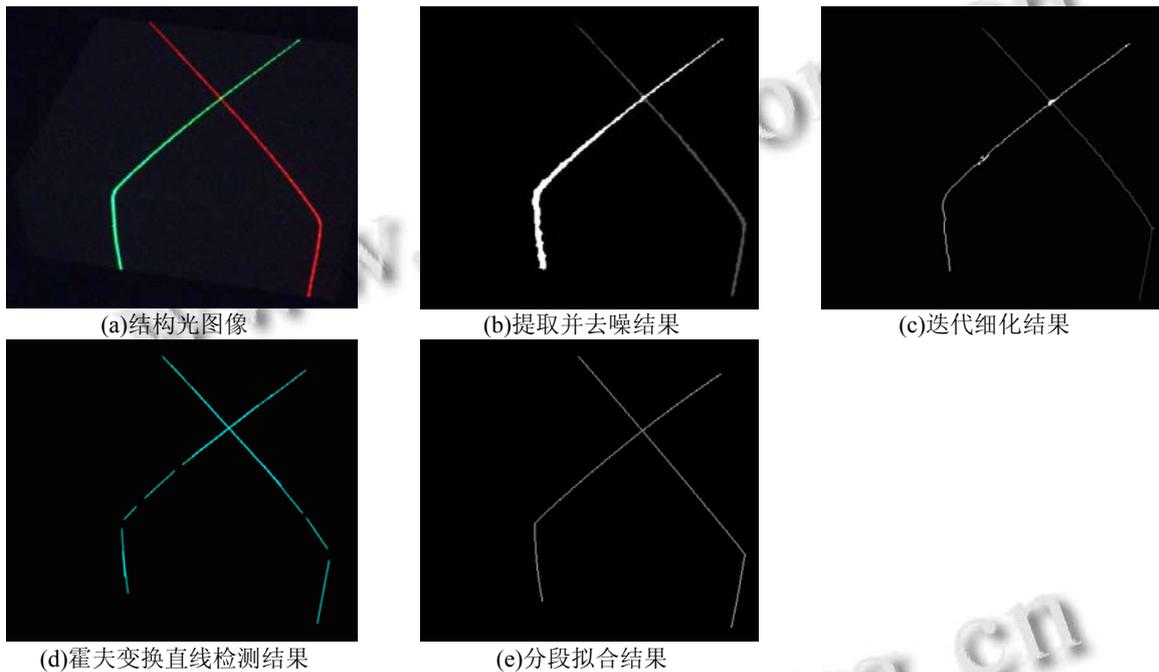


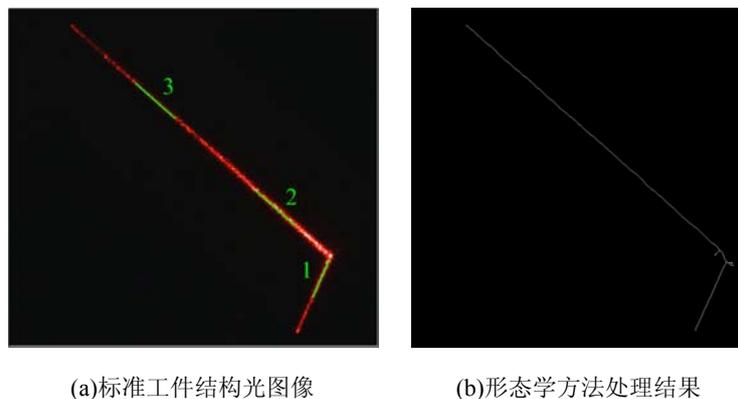
图 3 目标结构光提取过程

实验二: 结构光提取对比实验

为验证算法的性能, 我们与目前常用的结构光中心提取算法方法进行了对比试验. 检测目标为标准尺寸的长方体工件, 标准工件表面光滑、平整, 其理论

图 3 为使用本文方法对结构光光条中心线进行提取的过程示意图. 图 3(a)为初步采集的待处理图像; 目标分割提取结果如图 3(b)所示; 图 3(c)为多次迭代细化的结果; 霍夫变换直线检测的结果如图 3(d)所示, 根据途中直线线段的斜率, 图 3(c)中的点被分为了四个点集; 图 3(e)为使用最小二乘原理进行分段拟合的结果. 结果表明本文方法能够有效准确地获得结构光中心线信息.

光条中心为一条直线. 对该结构光图像分别使用形态学运算方法^[13,14]、多次曲线拟合法^[15,16]及我们提出的方法进行了结构光中心提取试验, 结果如图 4 所示.



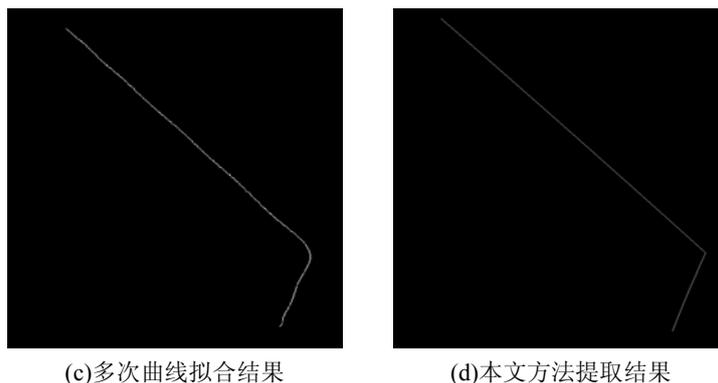


图 4 多方法结构光提取结果

由于图 4(a)标准工件上的结构光图像, 其每段折线的理论中心线均为直线段. 为验证本文方法的精度, 手动截取光条中的直线段(以 1、2、3 三段绿色线段标记)为样本进行最小二乘直线拟合, 将拟合结果的坐标

作为标准中心坐标. 应用以上所述的三种方法对图中三段样本进行曲线拟合实验, 表 1 为采用亚像素算法对三种不同方法拟合结果的最大偏差与标准差数据统计.

表 1 提取结果对比

	最大偏差(μm)			标准差(μm)		
	样本 1	样本 2	样本 3	样本 1	样本 2	样本 3
形态学方法	7.98	3.50	5.18	5.62	2.82	4.12
曲线拟合	4.06	2.94	4.34	3.27	1.91	3.75
本文方法	0.42	1.54	1.12	0.30	0.66	0.55

4 结论

本文针对三维视觉尺寸检测中结构光中心提取精度的问题, 根据 R、G、B 颜色分量差值提取目标结构光, 使用多次迭代细化算法获取目标点集, 并提出了基于霍夫变换和最小二乘法相结合的点集分段拟合方法. 实验结果表明, 本文方法能够准确提取出结构光光条中心, 最大程度地逼近了待测物体的表面形态, 算法稳定性高, 运行时间较短, 能够满足实际检测要求, 为烟盒尺寸三维视觉检测工作提供了准确的数据依据.

参考文献

- 1 刘枝梅,邓文怡,娄小平.结构光测量系统中光条中心的提取算法.北京机械工业学院学报,2009,1:42-45.
- 2 蔡山,张浩,陈洪辉,沙基昌.基于最小二乘法的分段三次曲线拟合方法研究.科学技术与工程,2007,3:352-355.
- 3 Lin MD. Propagating adaptive-weighted vector median filter for motion-field smoothing. Journal of Systems

- Engineering and Electronics, 2004, 2: 205-210.
- 4 倪臣敏,叶懋冬,陈孝春.一种改进的自适应中值滤波算法.中国图象图形学报,2006,5:672-678.
- 5 Bendahri H, Ezzine A. Road-signs detection by using of color image segmentation method based on the 3D content correlation. Innovative Computing Technology (INTECH), 2012 Second International Conference on IEEE, 2012, 430-432.
- 6 Belatreche A, Maguire LP, McGinnity TM. Application of biologically inspired neural oscillators to color image segmentation. Neural Networks (IJCNN), the 2010 International Joint Conference on IEEE. 2010, July. 1-8.
- 7 杨志平,齐清文,黄仁涛等.数学形态学在空间格局图像骨架提取中的应用.地球信息科学,2003,5(2):79-83,87.
- 8 曾庆兵,刘成良,苗玉彬,王世平,黄丹枫.基于形态学图像处理的重叠葡萄果径无损测量.农业工程学报,2009,9: 356-360
- 9 Hough PVC. Method and means for recognizing complex

- patterns. U.S. Patent 3069654, 1962.
- 10 曾接贤,张桂梅,储珺,鲁宇明.霍夫变换在指数函数型曲线检测中的应用.中国图象图形学报,2005,2:236-240.
 - 11 曾清红,卢德唐.基于移动最小二乘法的曲线曲面拟合.工程图学学报,2004,1:84-89.
 - 12 谢勤岚.图像降噪的自适应高斯平滑滤波器.计算机工程与应用,2009,45(16):182-184
 - 13 杨志平,齐清文,黄仁涛等.数学形态学在空间格局图像骨架提取中的应用.地球信息科学,2003,5(2):79-83, 87.
 - 14 Jongan P, Khaled C, et al. Image retrieval technique using rearranged freeman chain code. First International Conference on Informatics and Computational Intelligence. 2011. 283-286.
 - 15 李培培.曲线造型中关于拟合、参数化及形状优化问题的研究[学位论文].济南:山东大学,2012.
 - 16 刘海香.散乱数据点曲线拟合的研究及二次曲线拟合的一种新方法[学位论文].济南:山东大学,2005.