

计算机视觉检测中特征点线提取方法研究*

卢慧卿 王宝光 刘力双 李亚标

(1. 精密测试技术及仪器国家重点实验室天津大学 天津 300072)

(2. 天津大学精密仪器与光电子工程学院 天津 300072)

摘要 特征点、特征线的提取是计算机视觉检测的基础,特别是在工业检测中要求很高的精度。针对这一要求,介绍几种提取特征点、特征线的方法,具有很高的精度。以采用空心正四面体获取的三角形为例,设计一种获得特征点、特征线的图像处理算法,该方法具有速度快、精度较高、实用和算法分析容易等优点。实际结果表明,用此图像处理方法提取特征点、特征线的误差优于 0.1mm。

关键词 计算机视觉检测 特征点 特征线 空心正四面体 图像处理

引言

由于计算机视觉技术具有非接触、获得信息量大、作用距离远等特点,它在工业、农业、科学研究、军事等方面都获得十分广泛的应用。而在计算机视觉检测中,点、线的提取是基础,特别是在工业检测中要求提取的精度很高,如汽车白车身整体误差的测量项目中,应用空心正四面体作为定标视觉传感器的靶标,采用空心正四面体来获得截面图形即三角形,其中涉及到三角形的边、顶点、折线、光条的相对位置等方面,具有典型性。本文以获取三角形为例,提出一种快速准确的图像处理算法。

1 直线的提取

由于不需要颜色信息,所以实际中所采每一帧图像为 8 位灰度图像(数字图像的基本概念见参考文献[2])。图像处理的最终目的是要得到激光光条与正四面体三棱边交点 a、b、c 三点的坐标(见图 1)。求交点 a、b、c,要先提取折线,也就是直线。提取直线可采用截面检测法,也可用直接二维检测方法。

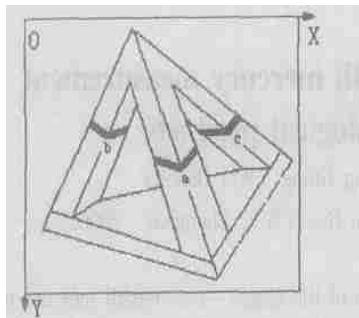


图 1 激光光条与空心四面体的交线和交点

1.1 截面检测法

在光条截面上检测出的点是一些离散点列(灰度分布特征点的检测算法见参考文献[3]),要对直线的位置、方向做出评价,必须从这些点列求解出直线的方程,可采用最小二乘法。设直线为 l ,各点列到直线 l 的距离为 d_i ,直线 l 方程为:

$$\sin \alpha \cdot x - \cos \alpha \cdot y + C = 0 \tag{1}$$

则最小二乘直线满足的最优目标方程为:

$$I(\alpha, C) = \sum_{i=0}^{N-1} d_i^2 = \sum_{i=0}^{N-1} (\sin \alpha \cdot x_i - \cos \alpha \cdot y_i + C)^2 = \min \tag{2}$$

$$\text{因为: } \frac{\partial I(\alpha, C)}{\partial C} = \sum_{i=0}^{N-1} (\sin \alpha \cdot x_i - \cos \alpha \cdot y_i + C) = 0$$

有:

$$\sin \alpha \cdot \bar{x} - \cos \alpha \cdot \bar{y} + C = 0 \tag{3}$$

$$\text{其中: } \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} y_i$$

令 $x = x - \bar{x}, y = y - \bar{y}$,则最小二乘直线方程变为 $\sin \alpha \cdot x - \cos \alpha \cdot y = 0$,相应的目标函数变为:

$$I_1(\alpha) = \sum_{i=0}^{N-1} (\sin \alpha \cdot x_i - \cos \alpha \cdot y_i)^2 = \min \tag{4}$$

$$\text{由 } \frac{\partial I_1(\alpha)}{\partial \alpha} = 0 \text{ 得 } A \sin 2\alpha - 2B \cos 2\alpha = 0 \tag{5}$$

$$A = \sum_{i=0}^{N-1} x_i^2 - \sum_{i=0}^{N-1} y_i^2, \quad B = \sum_{i=0}^{N-1} x_i \cdot y_i \tag{6}$$

由(5)式和(6)式可求得 α ,再据直线过 (x, y) 的性质即可求得最小二乘直线方程。

1.2 直接利用二维灰度检测

由于光条各截面上的灰度呈类高斯分布,灰度值越大,表明该点越接近特征点位置,是特征点的可能性越大。为此我们按灰度确定某点参与直线拟合运算的权。设二维灰度有效分布区的点集为 G ,各点的权为 $p(x_i, y_i)$,且 $\sum p(x_i, y_i) = 1$,则有:

*国家自然科学基金项目 59875066

$$I(x_i, y_i, C) = \sum_{(x_i, y_i) \in G} (x_i, y_i) \cdot (\sin \theta \cdot x_i - \cos \theta \cdot y_i + C)^2$$

$$= \min (7)$$

假定二维灰度函数为 $g(x_i, y_i)$, 如果取 $(x_i, y_i) = \frac{g(x_i, y_i)}{\sum_{(x_i, y_i) \in G} g(x_i, y_i)}$, 则按(7)式求得的直线 1 为有

较分布区关于灰度的最小惯量中心线。实际应用中, 权函数可取不同形式。有这种方式求解直线, 要求光条各截面上的灰度分布应比较一致。

1.3 曲面拟合法

根据光条灰度分布的特点, 可用二次曲线对灰度函数拟合, 拟合出的二次曲面的对称轴即确定为光条特征线在像平面上的位置。

二次曲面方程表示为:

$$S(x, y) = a_{11} \cdot x^2 + 2a_{12} \cdot x \cdot y + a_{22} \cdot y^2 + 2a_{10} \cdot x + 2a_{20} \cdot y + a_{00} \quad (8)$$

建立最小二乘目标函数:

$$I(a_{11}, a_{12}, a_{22}, a_{10}, a_{20}, a_{00}) = \sum_{i=0}^{N-1} [S(x_i, y_i) - g(x_i, y_i)]^2$$

$$= \min (9)$$

按(9)式求出 $a_{11}, a_{12}, a_{22}, a_{10}, a_{20}, a_{00}$, 再据(8)式利用二次曲面的不变量性质直接求出二次曲面的对称轴方程。实验表明, 这种方法的求解精度适中、计算速度较慢。

2 点线提取的图像处理方法

2.1 折线拐点检测方法

折线拐点最明显的特征是转折点的曲率有最大值, 依据曲率定义, 曲率: $= \frac{da}{dS}$, 实际求解时可取

$= -\frac{a}{S}$, 让 S 基本上为常量, 可建立检测模型(见图 2)。A、P、B 都在待检点列上, 保证 AP 间点数与 PB 间点数同为 n 。A、P、B 在点列上作扫描移动, 让 A、P 间的点拟合出一条直线 l_{AP} , P、B 间的点拟合出另一条直线 l_{PB} , 则两直线之间的夹角反应 P 点处的曲率大小, 夹角极大值所对应的点即为转折点位置。

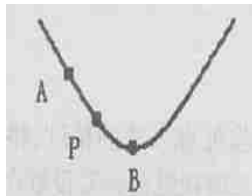


图 2 转折点的提取原则

检测出转折点的位置后, 以转折点为界, 把点列分成两列, 每列拟合出一条直线, 再求两直线交点, 交点即为转折点的精确位置。

2.2 简单提取点线的详细算法

基于以上介绍, 现以应用于虚拟定位的正四面体为例给出一种简单的提取直线, 从而获得交点的详细算法。

由图 1 知, 图像信息包括激光投射到正四面体上的三个“V”字光条(光条叉), 正四面体本身以及背景图案, 这三部分的灰度各自不同, 其中光条的灰度值最大, 接近于饱和(白色, 灰度值 255), 其余部分的灰度均小于 200。给定一个在 200 和 240 之间的域值, 如该点灰度大于此域值, 则该点在光条上, 如小于域值, 则该点不在光条上。找到“V”字光条的各点坐标, 分别拟合在左右直线的方程, 即可求出交点。

光条是有一定厚度的, 同时光强分布在厚度方向上也是不均匀的, 光条中心的那一段光强最强。对于打到规则表面上的激光光条, 灰度分布如图 3 所示, X 方向为垂直于光平面方向, 图 4 中虚线为光平面的实际位置。据此, 光平面与正四面体的交线如图 4 中虚线所示。

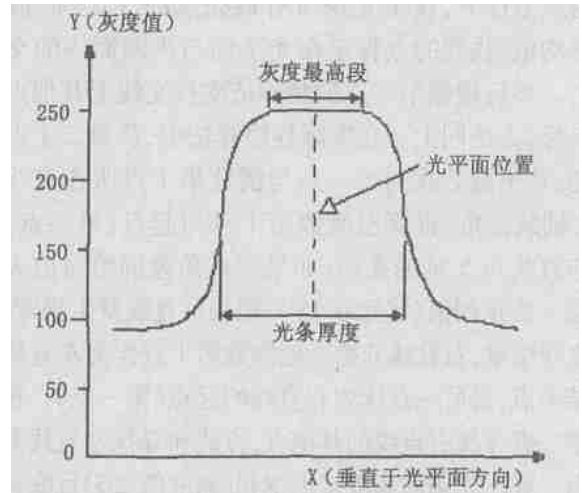


图 3 线结构光沿垂直于光平面方向的光强分布

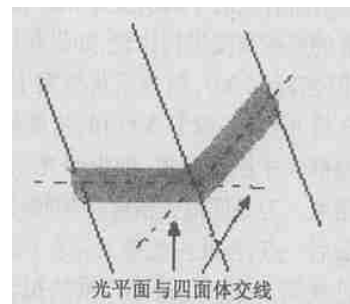


图 4 像面上光平面与正四面体交线

对于每一根“V”字光条, 在图像上有三种摆放方式, 即最低点分别为中点、右边点、左边点。图像处理的算法就应该兼顾光条叉的所有摆放方式, 不

能只适用于其中一种或两种。图像处理的第一步必须是寻找光条叉上的某一点,把首先找到的光条叉的第一点称作光条叉的起点,寻找的方法是给定搜索范围,按一定的搜索方法(从上往下,从左往右等)进行搜索,对搜索范围内每一点进行检验,判断该点是否是光条叉上的点,如是光条叉上的点,退出搜索,开始光条叉上其他点的寻找,如不是光条叉上的点,则继续搜索。

现仅以每一个“V”字光条(左光条叉,包括左右两直线)为例进行介绍,方法为从图像左上角开始搜索,从左往右,从上往下,寻找光条叉的左边端点(左边点),判断是否左边点的方法是检验该点灰度是否大于某一阈值(实际中取 220)。如果整幅图像搜索完,没有找到符合条件的点,则重新采集一帧图像进行同样处理。如找到,再以此点为基点,找左直线的点。向右第五点作为直线起点,由于光条的宽度在 10 到 15 个像素之间(从计算机屏幕上对所采集的图像观察可以看出),因此在 Y 坐标上下 20 范围内搜索肯定能找到第一点的 Y 坐标,搜索的方法为从上往下,找出光条所有最亮点的 Y 坐标,取其平均值,找到的点肯定在光平面与正四面体的交线上。然后根据第一点的坐标依次找交线上其他点的坐标,方法同上。在实际程序算法中,从第二十个点开始,算出最后找到的一点与倒数第十点所连直线与 X 轴的夹角,再算出倒数第十点与起点(第一点)所连直线与 X 轴的夹角,如果两夹角差的绝对值大于某一给定阈值(实际取 15°),则表示直线发生拐弯,左直线结束,右直线开始。把倒数第十点作为左直线的结束点,最后一点作为右直线的起点(第一点)。根据第一点寻找右直线的其他点,方法和寻找左直线其他点一样。光条的灰度接近饱和(灰度值 255)且变化范围不大(在 10 个象素范围内),在程序中一边找点一边计算找着的所有点的平均灰度,然后用此平均灰度和最后找着的点的灰度进行比较,如果灰度差大于某一给定阈值(实际取 30),则表示灰度发生急剧下跌,如果发生连续几点(一般取 5 点)的灰度较光条的平均灰度的差都大于给定阈值,则表明光条结束,也就是右直线结束。为保证拟合精度,把倒数第十点作为右直线的最后一点,至此左光条叉左右直线上所有点的坐标都已找到。分别用最小二乘法拟合左右直线的方程,解方程组求出两直线的交点,即为光平面与正四面体棱边的交点(图 1 中 b 点)。

另两个“V”字光条的处理方法一样,只是搜索起点和方向不同。根据图像处理的算法可得找第一

个光条叉的交点的流程图(见图 5),流程图 2、流程图 3 是找另外两个光条叉的交点,基本同 1,略。

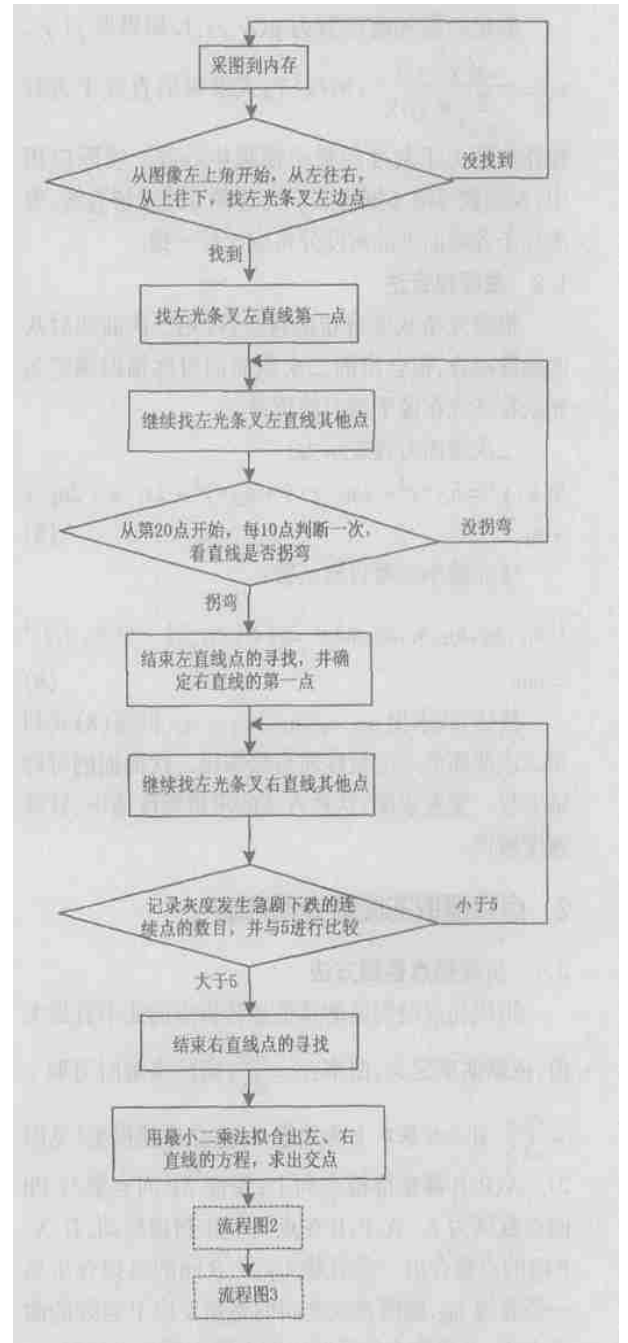


图 5 寻找光平面与正四面体左棱边交点流程图 1

3 结论

为给出图像处理方法的精度,将正四面体与获取图像所用的二维视觉传感器设置在三坐标测量机的测量范围内。为调整方便,将二维视觉传感器固定在一个位置上,在正四面体上先设定一个理想三角形并成像于计算机屏幕上,然后将激光投射到正四面体上,调整正四面体,直至实际所得三角形与理

想三角形在计算机的屏幕上完全重合。用三坐标测量头触测贴在正四面体上的量规的两个平面,求出两个平面方程,解得两平面相交所构成的一条直线方程。保持二维视觉传感器固定不动,多次调整正四面体,按上述方法取得多条直线方程,求出多条直线的包络圆柱面,该包络圆柱面的直径即为重复性误差。

将二维视觉传感器设置在两个不同的位置上,重复上述精度实验,取两次实验中出现的最大误差作为精度鉴定的结果。两次实验的实验数据列于表 1 中。由表 1 可知,此图像处理方法的精度为 0.1mm。

参考文献

- 1 王宝光,廖怡白. 六修参数的图形定位方法的研究[J], 光学技术,2002,28(3):213~216
- 2 容观澳. 计算机图像处理[M],北京:清华大学出版社,2000
- 3 段发阶. 计算机视觉检测基础理论及应用技术研究[D],天津大学博士论文,1994
- 4 邹定海. 三维视觉检测系统研究及其 ADC 应用[D],天津大学博士论文,1992
- 5 王宝光,朱蒙州. 汽车白车身测量中坐标转换的六维测量技术和方法,机械工程[J],1997,10(2):136~140

表 1 精度实验数据表

	交线 方程	交线 方程	交线 方程
第一次对准	$\begin{cases} x = 0.088t - 44.957 \\ y = -0.996t + 280.0 \\ z = -0.010t - 355.939 \end{cases}$ <p>(258.95 ≤ y ≤ 298.95)</p>	$\begin{cases} x = 0.088t - 45.012 \\ y = -0.996t + 280.0 \\ z = -0.010t - 355.979 \end{cases}$ <p>(258.95 ≤ y ≤ 298.95)</p>	$\begin{cases} x = 0.088t - 44.951 \\ y = -0.996t + 280.0 \\ z = -0.010t - 355.911 \end{cases}$ <p>(258.95 ≤ y ≤ 298.95)</p>
第二次对准	$\begin{cases} x = 0.089t - 39.792 \\ y = -0.996t + 260.0 \\ z = -0.009t - 353.229 \end{cases}$ <p>(238.80 ≤ y ≤ 278.80)</p>	$\begin{cases} x = 0.089t - 39.876 \\ y = -0.996t + 260.0 \\ z = -0.009t - 353.211 \end{cases}$ <p>(238.80 ≤ y ≤ 278.80)</p>	$\begin{cases} x = 0.089t - 39.870 \\ y = -0.996t + 260.0 \\ z = -0.009t - 353.279 \end{cases}$ <p>(238.80 ≤ y ≤ 278.80)</p>
	包容三直线的圆柱面轴线方程	圆柱面半径(mm)	定位误差(mm)
第一次对准	$\begin{cases} x = 0.088t - 44.984 \\ y = -0.996t + 280.0 \\ z = -0.010t - 355.944 \end{cases}$	0.0495	0.0990
第二次对准	$\begin{cases} x = 0.089t - 39.841 \\ y = -0.996t + 260.0 \\ z = -0.009t - 353.244 \end{cases}$	0.0486	0.0972

Study on image processing method of recovering the feature point and line

Lu Huiqing Wang Baoguang Liu Lishuang Li Yabiao

(State Key Laboratory of Precision Measuring Technology and Instrument, Tianjin University, Tianjin 300072)

Abstract Reovering the feature point and feature line is the basic in the computer visual inspection, the high - precision is asked in the measurement of industry. Aim at the request, some methods are presented to get the point and line and the precision is high. Take example for the triangle gained by a hollow tetrahedron, a high - speed and high - efficiency image processing method is designed to gain the feature point and feature line. This method is proved to be accurate and high speed; it is practical and simple for algorithm analysis. The practice result indicates that the error of recovering the feature point and feature line is better than 0.1mm.

Key words Computer visual inspection Feature point Feature line Hollow tetrahedron Image processing