

常用的激光中心线提取算法大致可以分为三大类：（1）提取光条的几何中心：如阈值法，中心法等；（2）提取光条的能量中心：如重心法，极值法等^[1]；（3）基于基本方法而演化来的其他方法：如深度约束法、方向模板法、Hessian 矩阵法等。其中提取光条中心的几何中心法因其固有的不足性应用越来越少。

方法	方法概述	特点
阈值法	阈值法是一种骨架抽取的方法。这种基于细化技术的操作，可以提取光带的大概骨架。	速度较快，但定位精度差，三维重构效果不是很理想。
边缘法	边缘法是利用轮廓提取的办法提出二值化后的图像轮廓，然后利用轮廓跟踪技术找到外边缘作为需要的轮廓线。	精度不高；
中线法	中线法是对边缘法的改进，他的思想是找出内外轮廓的边缘线，然后根据边缘线求取中心线作为轮廓线	在光带不规范的情况下对内外轮廓的对应点很难匹配导致求解中心偏移较大。
深度约束法	深度约束法对二维光带图像的像素点作深度方向上的几何约束，以保证所提取轮廓的像素点均具有同一个深度方向上的坐标值，从而位于理想光平面上。	它的精度较高，但是对硬件的要求很高，对光源，入射方向和系统参数都有严格的要求。
极值法	极值法是将光强极大值作为光带中心。	这种方法比较简单、运算量小，但精度低、受噪声点影响很大。
高斯曲线拟合法	高斯曲线拟合法是以每一行中现有光带上像素点的灰度值，拟合一条高斯曲线。拟合曲线的局部极大值点即为截面的光条中心点	这种方法精度高，可以精确到亚像素级；但需要的有意义的采样点较多，不适合窄光带中心提取。

Hessian 矩阵法	<p>基本思想为，光条截面的中心点是截面点灰度分布曲线的一阶导数为零和二阶导数绝对值极大的点。该方法把光条上的每一个点处的切线方向 $n(t)$ 作为该点处光条截面点灰度分布曲线的走向，若该点处在 $n(O)$ 方向的一阶方向导数为零和二阶方向导数绝对值为极大，则该点即为该截面的光条中心点。因此，$n(t)$ 的求解便成为关键。该方法把 $n(O)$ 的求解转化为求 Hessian 矩阵的绝对值为最大的特征值所对应的特征向量，从而使问题大简化。</p>	受噪声影响极大
基于 FIR 的方法	<p>JosepFoerstlCollado 通过采用线性滤波器对激光光条图像进行滤波来去除图像中的噪声。同时他在分析了镜面反射、朗伯表面反射和半透明表面反射的特征后，提出了一种基于 FIR 滤波器的激光光条提取方法。</p> <p>首先计算行信号 $x(n)$ 与 FIR 滤波器系数 $h(n)$ 的卷积;然后计算 FIR 输出的一阶导数,最后通过线性估计在直线上计算出一阶导数的过零点,并将该点作为激光光条中心。</p>	<p>适应于不同光学特性的表面及信噪比较低的情况，计算相对复杂。</p>
灰度重心法	灰度重心法是把光带的灰度重心作为光带中心。	运算速度快，精度高。
方向模板法	<p>该方法是从重心法的思想发展而来的。结构光条纹的形状随物体表面变化而不同，在小尺度情况下，可认为结构光条纹形状有四种模式:水平、垂直、左</p>	<p>这种方法不仅具有抗白噪声能力和一定的修补断线的而且还能较好地保留激光条纹的细节信</p>

	斜 45 度、右斜 45 度，对应这四种模式，分别设计四种方向的模板，并且采用的模板大小固定，但其方向可变。	息。运算速度较慢
--	--	----------

方向模板法原理：

结构光条纹的形状随物体表面变化而不同，在小尺度情况下，可认为结构光条纹有四种模式：水平、垂直、左斜 45 度、右斜 45 度，对应这四种模式，分别设计四种方向的模板，并且采用的模板大小固定，但其方向可变。

假设模板为 K，模板的大小为 M*N,通常将模板的元素去正数：

$$K[s][t] > 0; s = 0, 1 \cdots M-1, t = 0, 1 \cdots N-1 \quad (1)$$

假设有效尺寸为“5*3”的方向模板有如下四个方向：

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & k_{00} & k_{01} & k_{02} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_{10} & k_{11} & k_{12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_{20} & k_{21} & k_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_{30} & k_{31} & k_{32} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_{40} & k_{41} & k_{42} & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_{00} & k_{01} & k_{02} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_{10} & k_{11} & k_{12} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_{20} & k_{21} & k_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_{30} & k_{31} & k_{32} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & k_{40} & k_{41} & k_{42} \end{bmatrix}$$

模板 K₀

模板 K₁

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_{02} & k_{12} & k_{22} & k_{32} & k_{42} & 0 \\ 0 & k_{01} & k_{11} & k_{21} & k_{31} & k_{41} & 0 \\ 0 & k_{00} & k_{10} & k_{20} & k_{30} & k_{40} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & k_{00} & k_{01} & k_{02} \\ 0 & 0 & 0 & k_{10} & k_{11} & k_{12} & 0 \\ 0 & 0 & k_{20} & k_{21} & k_{22} & 0 & 0 \\ 0 & k_{30} & k_{31} & k_{32} & 0 & 0 & 0 \\ k_{40} & k_{41} & k_{42} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

模板 K₂

模板 K₃

设图像大小为 row 行，col 列，C[i][j](i=0,1...row-1;j=0,1...col-1)表示图像中在 (i,j) 像素点的灰度值，分别用模板 K₀、K₁、K₂、K₃ 对图像每一行处理，例如对第 i 行对模板 K₀ 为：

$$H_j = \sum_{s=0}^{M-1} \sum_{t=0}^{N-1} K_0[s][t] C[i - \frac{M}{2} + s][j - \frac{N}{2} + t], j = \frac{N}{2}, \frac{N}{2} + 1, \cdots col - 1 \quad (2)$$

$$H_{p0} = \max(H_j) = \max(H_{\frac{N}{2}}, H_{\frac{N}{2}+1} \cdots H_{col-1}), \frac{N}{2} \leq j \leq col - 1$$

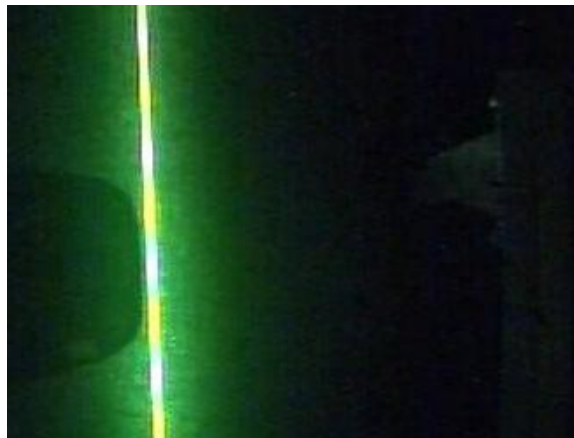
对模板 K₁、K₂、K₃ 分别有 H_{p1}、H_{p2}、H_{p3},如果有 H_p=max(H_{p0}、H_{p1}、H_{p2}、H_{p3})，那么第 i 行上激光条纹中心位置为点 P 处。

传统重心提取法受噪声影响大，于是有了基于骨架提取的方向模板法与重心

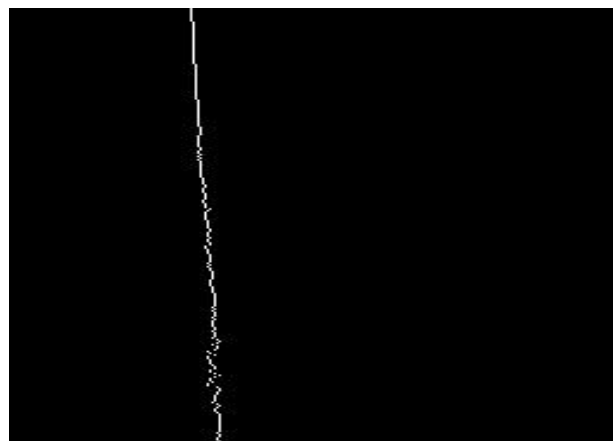
提取法相结合的方法。实现步骤如下:

- (1)统计整个图像的灰度,利用迭代阈值法求出图像二值化的域值,对图像进行二值化处理;
- (2)对二值化图像进行细化处理,得到光带的基本骨架,并对提取出的骨架进行剪枝^[2]处理;
- (3)找到骨架点,并在这个点处与 4 个模板分别做相关运算,求出 4 个相关值 H ;
- (4)判断哪个模板与图像的相关程度最大,找出相关程度最大的模板;
- (5)以骨架点为中心,沿着与模板垂直的方向两侧各提取 n 个原图像中的图像点组成一个像素点集合;
- (6)利用灰度重心法,求取这个像素点集合的灰度重心,即为线结构光图像在该点处截面上的中心值;
- (7)依次遍历其他骨架点,求出整个光带图像的中心。

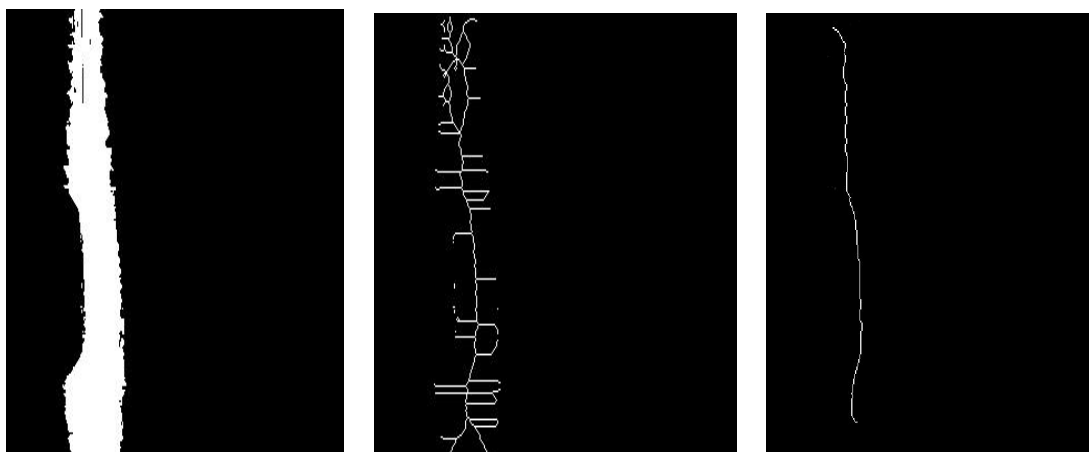
灰度重心法&方向模板法



中心线原图



灰度重心法提取中心线结果图



大津法二值化图

细化结果图

剪枝结果图

由剪枝结果图可以看出，方向模板法并不可行。

由网站搜索到一种方法：先对图像进行膨胀处理，再进行细化来提取线光中心，下图是对网站示例图片的处理，所得结果较好。



线光原图

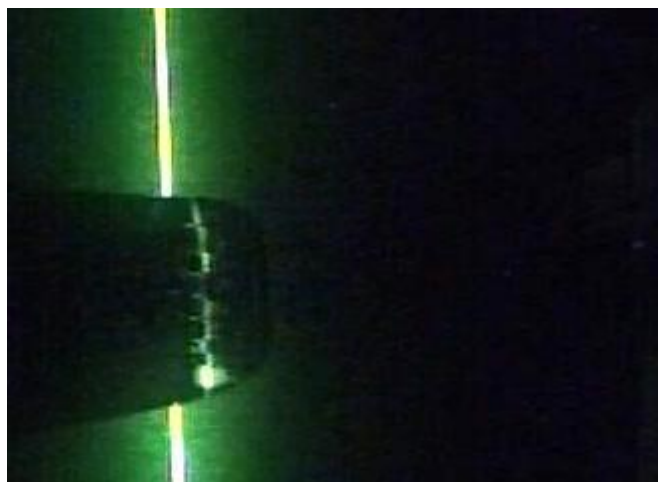


二值化图

图像膨胀

图像细化

下图为将上述先膨胀再细化的方法运用到自己实验中的结果图：



线光中心原图



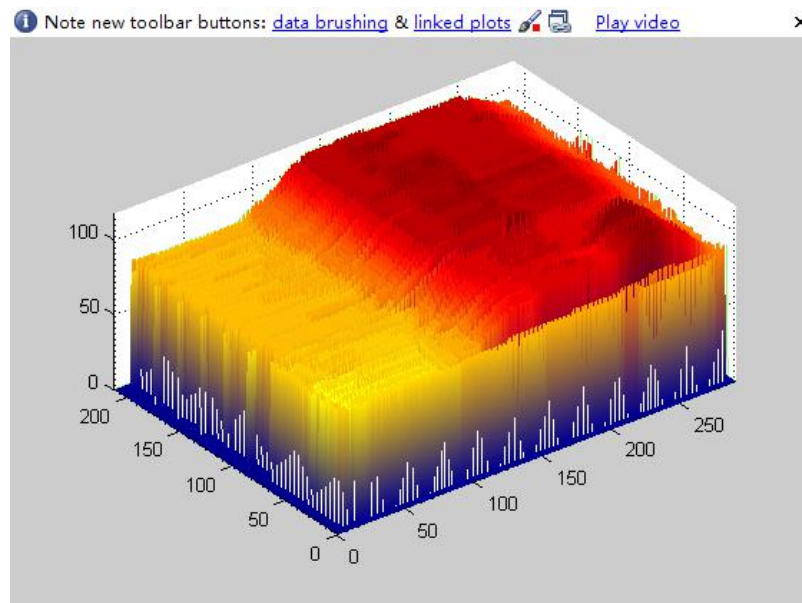
灰度重心法线光提取结果



二值化图像

图像膨胀

图像细化



由结果图可以看出用该方法进行线光提取会损失激光线的一些细节信息,导致重建结果并不理想。

综上可以得出结论,灰度重心法进行线光提取是比较好的方法。

[1] 熊会元,宗志坚等.精确提取线结构光条纹中心方法,计算机工程与应用,45(10),2009:235-237.

[2] 吴庆阳,苏显渝,宋芳.线结构光图像骨架的剪枝算法[J].四川大学学报:工程科学版,2006,38(5):148-151.