

条纹光光源

一、背景

近年来，智能化的喷涂瑕疵检测受到广泛关注。其中打光是喷涂瑕疵检测中非常重要的一环。

目前关于喷涂瑕疵检测的打光方式主要一下两种。一种通过液晶显示屏投射几组不同相位的正弦条纹光，通过主机端的相位解包裹算法对车身表面进行三维重构来定位瑕疵的位置。这种模式的弊端在于，对于表面没有形变的瑕疵具有一定的局限性，不能够准确检出，而且这种光源需要机械手进行整体移动，造价高昂，对于推广有一定的局限性。另外一种采用均匀打光的模式，完全利用车身瑕疵的反射光特性来采集图像，这种打光模式对于相机的位置摆放和算法有着极其苛刻的要求，并且对于形变较小的瑕疵存在无法清晰拍摄的问题。

二、方案

1. 有益成果

视觉光源对于瑕疵的检出有着非常重要的作用。好的光源系统能使瑕疵呈现出清晰的图像特征，便于后续的计算检出。本发明的有益成果在于通过条纹光薄膜装置，使得图像采集系统能够清晰的采集到不同类别的瑕疵特征，对于后续的瑕疵检出奠定了良好的基础。且该装置安装简便，有着极大的经济适用价值。

2. 本装置的技术方案

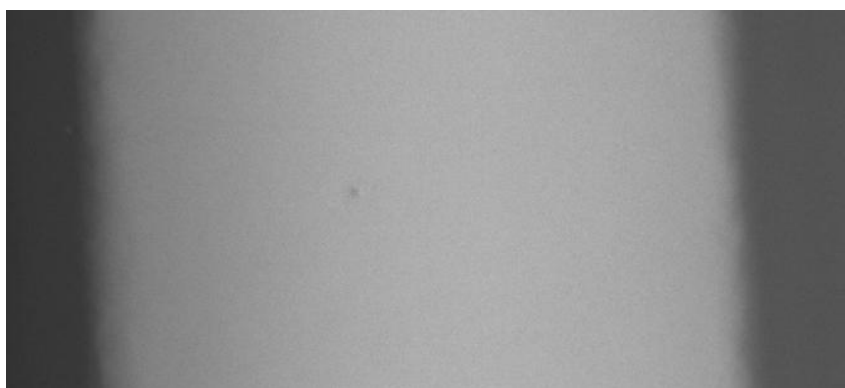
- 1) 使用 LED 阵列面光源作为光源, LED 的排布密度主要根据功率需求来制定，这里不做过多的说明。
- 2) 使用 PC 扩散板对光源做均光处理，扩散板的透光率在 70%以上。
- 3) 条纹结构光薄膜，薄膜上印有用于瑕疵采集的设计图案，通过光源的投射，即能够在车身上投影出精心设计的结构光图案，通过图像采集系统便能清晰的拍摄到通过条纹结构光采集到的喷涂瑕疵样本。
- 4) 条纹结构光图案的设计

目前按照大的类型主要分为两种。一种是以表面清漆有损伤的情况，主要表现为毛发、划痕、擦伤等。这类瑕疵由于大大改变了反射表面的反射率，因此通过均匀打光，这类瑕疵很容易被图像采集系统采集，并呈现出较高的对比度和清晰的边缘信息，如图一所示，便于后面算法的处理。



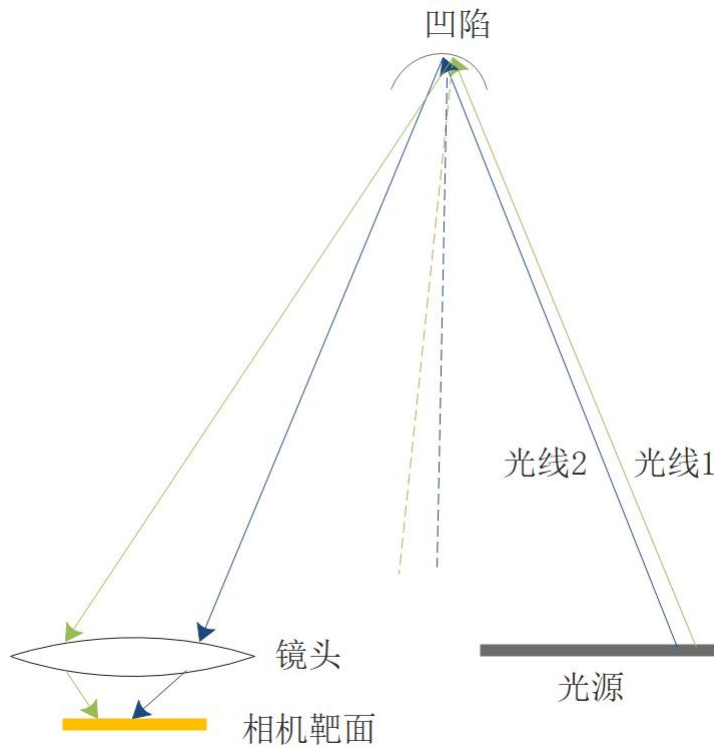
图一

另一类瑕疵如颗粒、缩孔类、凸起、凹陷，由于这类瑕疵并没有改变喷涂表面的反射率，仅仅存在一定的形变，改变了喷涂表面光的反射方向，并且由于这类瑕疵大多形变小，因此用均匀打光的方式很难拍摄清楚。如图二所示，图中的瑕疵特征非常微弱，不便于后续算法检出。



图二

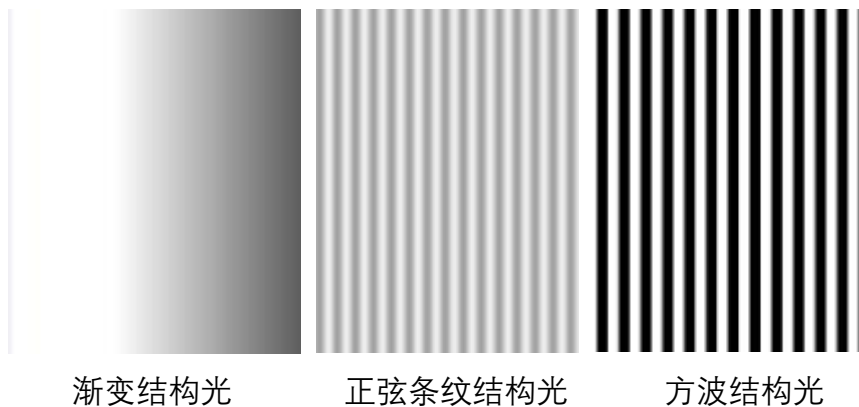
综合上述情况，既要考虑第一类瑕疵清晰拍摄，又要使第二类的瑕疵特征拍摄明显，便于后面的深度学习目标检测。由于该类瑕疵没有改变反射系数，仅仅靠反射光线的方向改变来拍摄瑕疵很难拍摄到清晰特征。如图三所示，为了说明，只考虑凹陷类瑕疵和两条光线，从图中可以看出，由于喷涂表面的形变，反射光线会出现交叉情况，这时如果光线 1 和光线 2 强度不相等，那么在相机靶面上就会形成不同亮度的图像，由于凹陷各处不同的反射微结构加上光源不同的入射光强度，就会有在相机靶面上呈现不同的形状特征。



图三

根据上述分析，我们知道，只要入射光线有足够的强度变化，就能采样到类似形变的喷涂瑕疵。也就是入射光线要保证一定的斜率变化。

为此，设计了不同的结构光模式来对此类瑕疵进行采样。模型如图四所示：



图四： 结构光模型设计

I 为透射强度(0~255，数值越大代表亮度越大)， x 为横轴，

渐变结构光：其中 k 为横向变化的斜率， $I = 255 - k \cdot x$

正弦条纹光： $I = \sin(A * 2\pi f + \varphi) + offset$,其中 f 为频率， A 为幅度， $offset$ 为本底强度， φ 为初始相位。

方波结构光：

If $n \cdot \text{period} \leq x < n \cdot \text{period} + \text{period}/2$

$$I = A$$

Else if $n \cdot \text{period} + \text{period}/2 \leq x \leq (n+1) \cdot \text{period}$

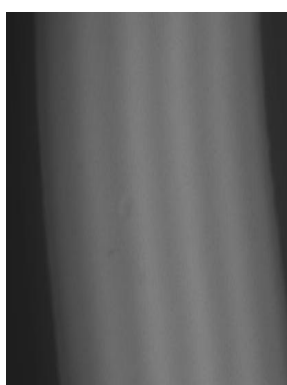
$$I = B$$

其中 $n = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$, period 周期, A, B 分别为幅值。

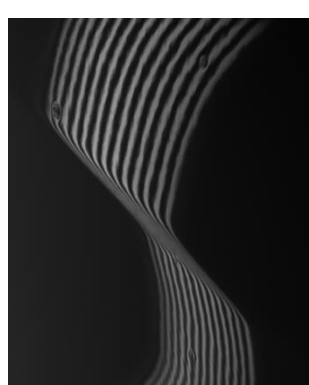
试验中, 投射薄膜的宽度为 9cm (便于多次瑕疵检测), 均匀光源透过薄膜投影在喷涂表面, 再利用图像采集系统进行采集, 得到实际的采集图样。如图五所示:



渐变结构光



正弦条纹结构光



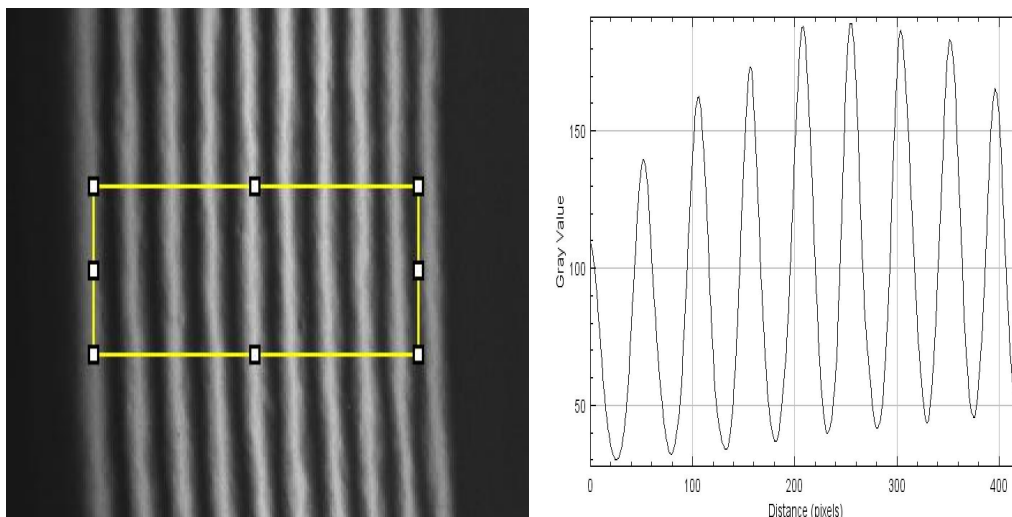
方波结构光

图五: 实际采集图像

从图中不能看出, 方波结构光对于形变类的瑕疵特征拍摄清晰, 非常便于后续的目标检测与定位。

5) 条纹薄膜透射率设计

无论是正弦条纹光还是方波结构光, 在特定材料下和打印条件下, 不同幅度的周期图像决定了其最终透射率的大小, 也就决定了条纹光带的对比度, 此处不考虑喷涂表面的形状变化 (假设为平面) 和光源不均匀造成的影响, 这里我们假设打印图案的灰度值与透光率是线性变化的。图六为实际采样到的图像及图像分析。



图六 透射率分析

从图六原图中取出一块中心区域，每列平均后划出趋势图，从图中可以看出虽然设计的是方波结构光图案，但实际投射图案不可能像方波那样，实际表现是幅度较大的正弦结构光，每个周期内幅度变化有差异以及最大最小值有差异那是因为相机的位置（相机位于侧面）和光源均匀性两方面造成的。但这并不影响我们的检测，这是因为无论在边缘或是在中心，都有足够的斜率来保证二类瑕疵能够被清晰拍摄到，只是灰度值会有一些的变化。

6) 条纹结构光周期的设计与优化

图像的周期取决于检测的瑕疵实际大小尺寸，假设瑕疵检测的最小尺寸为 min_{flaw} ，条纹的一个周期宽度为 T ，那么 T 需要满足 $T < 2 * min_{flaw}$ ，即保持边缘采样周期小于或者等于需要检测的最小瑕疵。

7) 非形变类瑕疵检测的条纹光优化

由于非形变类瑕疵基于彭图表面反射系数的形式来检测瑕疵，因此需要一个比较均匀明亮的背景，由于此前的暗区（灰度值低的区域）占比为 50%，且存在一定的过度区域，非形变类瑕疵容易淹没在黑色区域，不利于后期的目标检测，因此我们设计了占空比不同的条纹结构光来实现上述的要求，如图七所示，从图中也可看出，此类瑕疵特征表现明显。



图七： 不同占空比方波条纹光占空比的图像特征对比

8) 条纹结构光瑕疵拍摄的检出

这里仅以缩孔的检出做说明。如图六所示，由于特征明显，经过深度学习，

利用目标检测技术等深度学习框架能够准确找到该类瑕疵。其中左图为原图，右图为检测出的瑕疵的 Mask 图像，可以看到，图中的两个缩孔瑕疵均被准确检测到。这就说明利用优化后的条纹结构光，能够准确清晰的采集到瑕疵，为深度学习的检测提供了良好的学习基础。具有很大的工程适用性。

