

管道检测

任务描述

在生产一些有着精密用途的管道管材时，诸如颗粒或者材料滴落等缺陷，可能会导致产品质量问题。通过CTMV，我们可以实现一种在线管道检测的视觉系统。

设计规格

- **任务和功能。**正如上面所说，我们需要实现一款对已知种类缺陷的在线检测。需被检测到的最小缺陷，尺寸在0.08 mm。根据缺陷种类和大小，这些缺陷要被分为不同的类别。对于每个类别，要根据大小和发生频率来定义一个容忍度。打个比方，如果一些颗粒，大小在0.1 mm和0.2 mm之间，且每米被检管道上有不超过5个，那么这些颗粒就是可以容忍的。

我们也需要一个检测协议，这个协议要显示出那些缺陷，包括它们从开始检测起计算的位置，它们的尺寸，和它们的图像。此外，这些数据必须供以远程计算机通过TCP/IP协议在线访问。检查由人工操作。

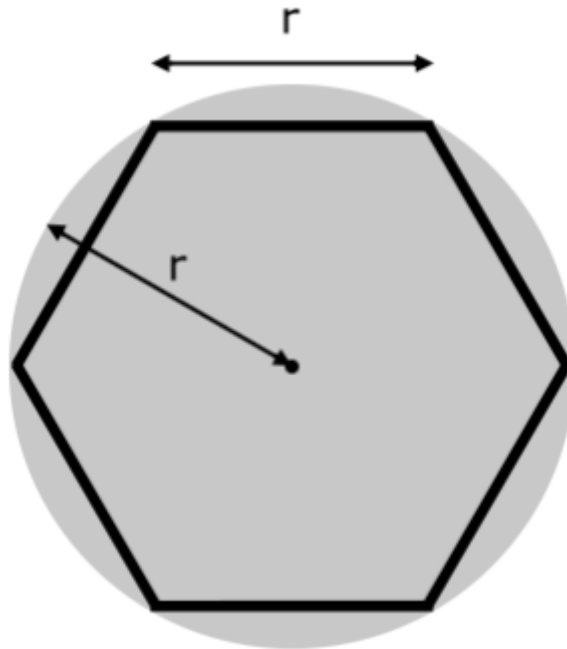
- **工件。**管道的直径在5 mm和32 mm范围之间变化。管子为透明的。直径上的变化要定位给系统。管子表面无尘无胶，同时不应出现颜色变化。
- **工件定位。**管道纵向移动生产，移动速度最大为3米每分钟，横向位置有0.5 mm的容忍度。
- **性能需求。**要检测的最小缺陷大小为0.08 mm。处理时间应定义为一个处理速度的函数。在每一次图像采集完成之前，这一次的图像需要完成处理。
- **信息接口。**正如上面所提到的，需要一个用以控制和设置管径的用户界面，一个用以输出和储存的检测协议，和一个基于TCP/IP连接的对缺陷数据的在线访问功能。
- **安装空间。**要能直视管道内部。距管道中心的最大距离是400 mm。在运动方向上，系统可以使用700 mm的距离。摄像机与电脑间距为3 m。组件应被覆盖，以防滴水。

设计

(1) 相机种类。由于管道是移动的，而且需要相当高的分辨率，所以最好选择线扫描装置。为了能360°覆盖管子四周，至少要用六个摄像头。这时，得计算一下六个线扫描相机、足量的图像采集卡和处理器硬件的成本了，费用超出了预算。

所以，不得不用面阵相机。对于单帧的获取，需要注意相机触发和多张图像上的缺陷合并的问题。

(2) 视场。在使用六个相机时，每个相机需要覆盖半径大小的视野，如图所示。



最大直径被定为32 mm，半径为16 mm。位置容忍度小于0.5 mm。所以，一台相机所需的视场可以这样计算

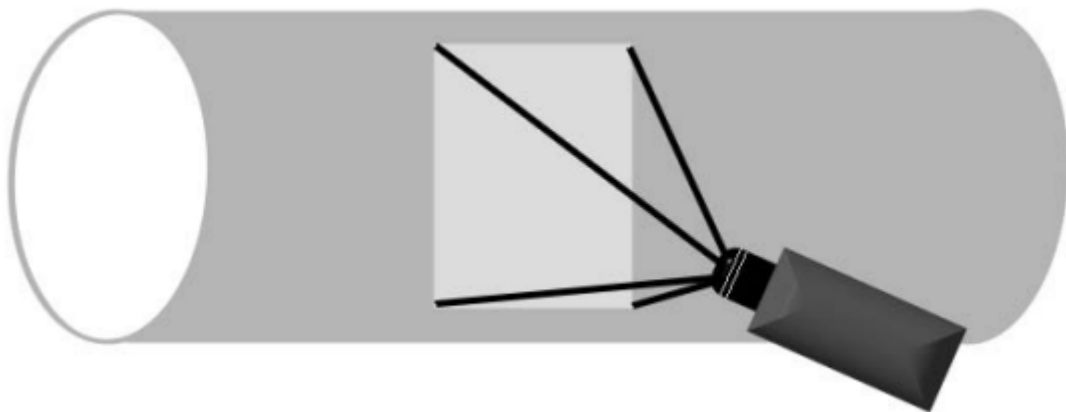
FOV = 最大部分大小 + 位置容忍度 + 边距 + 对相机传感器长宽比的适配

$$\text{FOV}_{\text{横向}} = 16 \text{ mm} + 0.5 \text{ mm} + 1 \text{ mm} = 17.5 \text{ mm}$$

使用一个4:3传感器长宽比的面相机，竖直视场可以这样确定

$$\text{FOV}_{\text{纵向}} = \text{FOV}_{\text{横向}} \cdot \frac{3}{4} = 17.5 \text{ mm} \cdot \frac{3}{4} = 13.125 \text{ mm}$$

从而，可以计算视场为17.5 mm × 13.125 mm。相机可以如下图安装。



(3)分辨率。最小缺陷的大小被定为0.08 mm。因为处理过程基于斑点分析，所以为了排出最小的缺陷，最少要用3个像素。因此，需要0.027 mm每像素的空间分辨率。

又由视场数据，可以计算得相机分辨率为

$$R_c = \frac{\text{FOV}}{R_s} = \frac{17.5 \text{ mm}}{0.027 \text{ mm/像素}} = 656 \text{ 像素}$$

(4)相机、图像采集卡和硬件平台的选择。根据这些数值，可以选择一款标准VGA相机。一项相机接口技术，IEEE 1394，因为相对于Camera Link这类系统，更容易集成、成本低廉，而被选用。带有656 × 491像素分辨率传感器的Basler 601f CMOS相机被选用。

使用656像素来排17.5 mm的视场，结果得到的空间分辨率为

$$Rs = \frac{FOV}{Rc} = \frac{17.5 \text{ mm}}{656 \text{ 像素}} = 0.027 \text{ mm/像素}$$

这样，最小0.08 mm的缺陷就可排在3像素中。

硬件平台选用一款19寸的基于Windows的电脑。摄像机通过可二次配置的I/O口和IEEE 1394，连接到两个National Instruments的PCI-8254R板上。

(5)镜头设计。到管道中间的最大距离定为400 mm。放大系数可算得

$$\beta = -\frac{\text{传感器大小}}{FOV} = -\frac{6.49 \text{ mm}}{17.5 \text{ mm}} = -0.371$$

传感器大小是通过单元大小9.9 μm 每像素与传感器分辨率656像素相乘得到的。

使用放大倍率，和距离管道的最大值400 mm，减去相机镜头占据的距离200 mm，可以计算出焦距

$$f' = a \cdot \frac{\beta}{1 - \beta} = 200 \text{ mm} \cdot \frac{0.371}{1 + 0.371} = 54.1 \text{ mm}$$

从而选择50 mm的镜头。

算得间距*d*为

$$d = f' \cdot \frac{1 - \beta}{\beta} = 50 \text{ mm} \cdot \frac{1 + 0.371}{-0.371} = -184.8 \text{ mm}$$

如前文所述，镜头延伸值*I*可被算得

$$I = a' - f' = -f \cdot \beta = 50 \text{ mm} \cdot 0.371 = 18.55 \text{ mm}$$

由于无法通过调焦来实现，所以使用了15 mm的延伸管。

(6)照明选择。由于管道为半透明的，所以采用漫反射背光来照明。这样，缺陷处则会出现暗点。由于快门时间要被设定为一个很低的值，所以需要高光强。管道在图像中移动1像素的距离，需要时间为

$$t = \frac{Rs}{v}$$

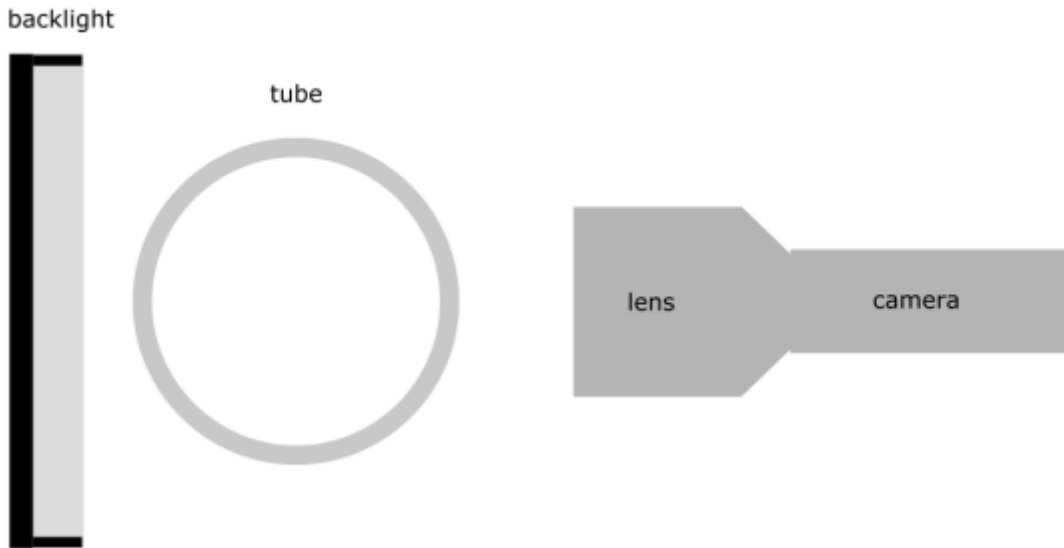
其中，*v*为管道速度 (3 m/min = 50 mm/s)，*Rs*为扫描方向上的空间分辨率。

从而

$$t = \frac{0.027 \text{ mm/像素}}{50 \text{ mm/s}} = 540 \mu\text{s}$$

所以选择一款50 mm × 50 mm大小的高功率LED背光灯。由于光照强度足够，所以不再需要闪光操作。

(7)机械结构设计。对于机械设计，要注意相机和灯关的安装。由于不同的照明设备会互相干扰，所以每组相机和灯光都要排成一排。一组相机的安装如图所示。

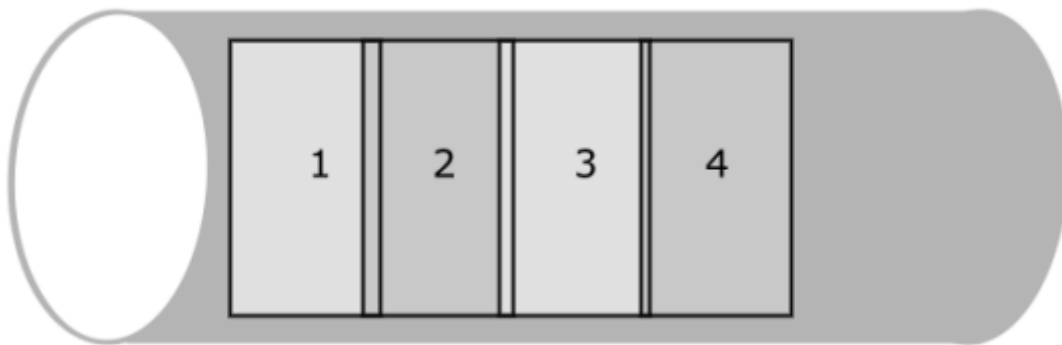


由于设备会被暴露在滴水下，所以灯光和相机要装外壳，电脑设备亦是如此。

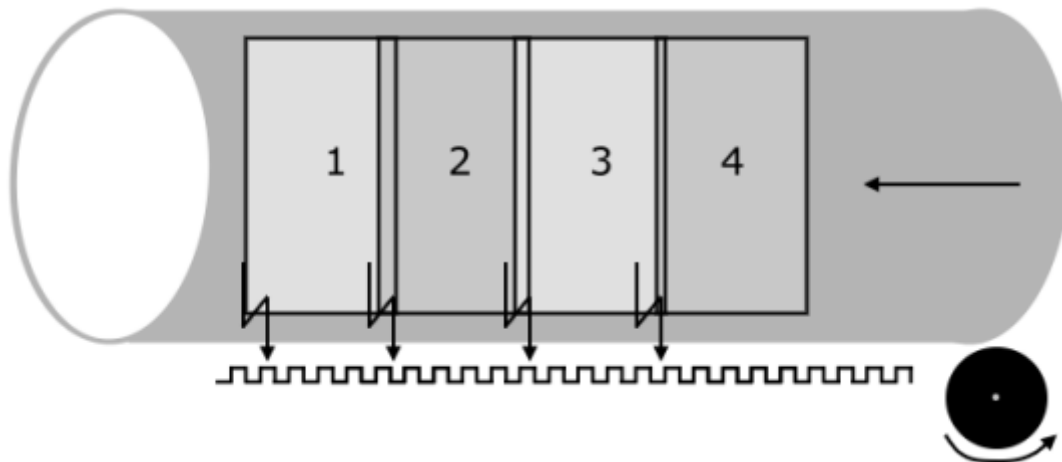
(8)电路设计。 电缆长度小于4.5 m，符合IEEE 1394标准。

(9)软件算法。 软件库方面，使用通过Microsoft Visual C#编写出来的CTMV软件包。图像采集方面，选用National Instruments Imaq为IEEE 1394标准提供的API。

对于图像采集，要以定好的2 mm重叠量，来触发摄像机以获取图像。下图演示了一台相机拍下连续的4帧图像。



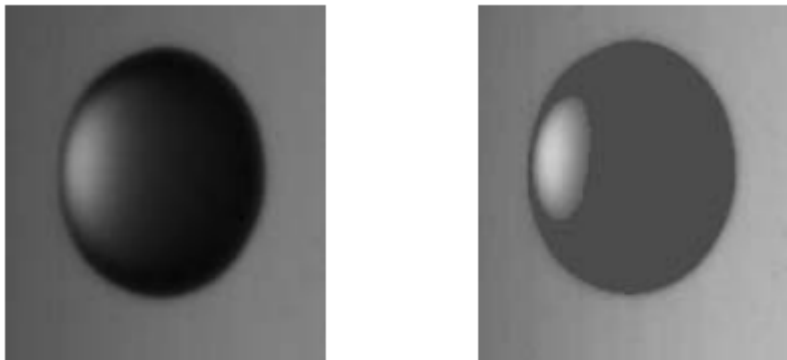
对于相机触发，使用了一个旋转编码器，它将如下图显示管道的移动。编码器信号连接到图像采集卡上专门设计的输入口。用一个FPGA计数器，采集卡会发出触发信号，并发给相机。计算机上的应用软件并不会处理信号触发，这将全部由FPGA执行。这节省了计算时间，并保证了触发程序的高可信用度。



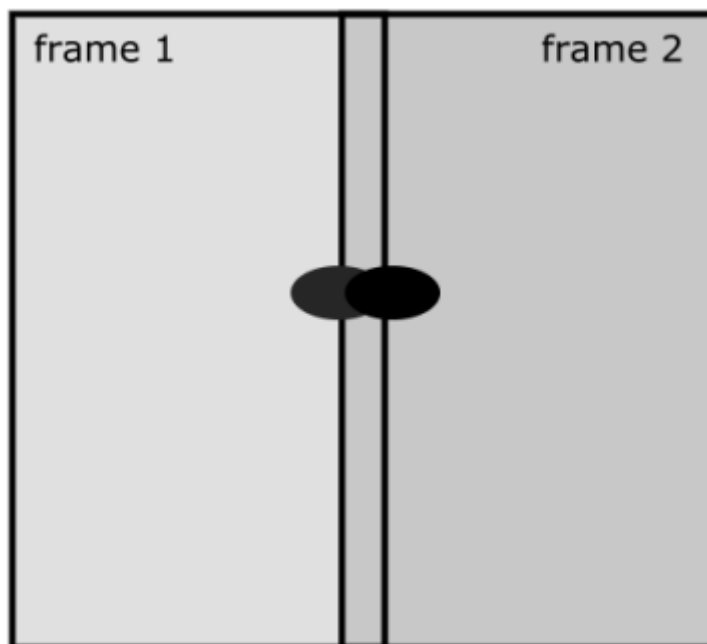
由于管道是个曲面，所以图像中的光并不均匀。下图就显示了一幅管道的图像。为了保证光亮的均匀性以便接下来的检测，要用上阴影。在检测刚开始时，要参考几张图像的均值计算做好示教。



特征定位和分割通过阈值化完成。由于阴影的使用，对不同的管道，无需再为了阈值化而适配调整。下图分别展示了原图中的缺陷和阈值化分割后的缺陷。



分割之后，特征提取就能通过斑点分析完成。每个斑点要在长、宽和面积上进行测量。这之后，要被分到不同的缺陷类型中，比如颗粒或液滴。测量时，需要检查某处缺陷是否可以在多帧中看到，如果可以，还要进行合并以便测量正确。下图就展示了这种情况。



在测量并分类后，缺陷被添进恰当的缺陷类。如果可容忍的缺陷数达到了预定的容忍度，那就会发出一个错误信号。

这之后，这些包括长宽大小和缺陷图像的信息将会进入缺陷记录数据库中。

