

机器视觉 作业 2

210320621 吴俊达

侧边的数字为所对应的原书页码。

65

2.6.2 管道检测

2.6.2.1 任务

制造应用于复杂场景的管道时，管道的缺陷（例如微粒和材料小滴）可能造成质量问题。CTMV 实现了一个能嵌入产线¹的管道检测视觉系统。

2.6.2.2 任务说明书

- 任务与收益。如上所述，需要实现的是对指定缺陷的在线检测。应被检测到的最小缺陷的尺寸是 0.08mm。还要将缺陷根据类型和尺寸分成若干等级。对于每个等级，可根据缺陷的尺寸和出现频率规定容许值。例如，若微粒的尺寸介于 0.1mm 和 0.2mm 之间，且在 1m 的管道中缺陷出现不超过 5 次，则此种微粒是可以容许存在的。
要采用一种检测协议，该协议要能够显示缺陷（种类）、它们距离检测起始端的距离以及它们的尺寸和图像。另外，上述这些数据还要通过 TCP/IP 协议传输，以使远程电脑可以在线访问。检测指令是手动下达的。
- 待检测零件。管道直径在 5mm 和 32mm 间变化。管道是透明的。系统可能受到直径变化的影响。管道的表面没有灰尘或胶水，且不应变色。
- 零件的定位。生产管道时，管道的水平移动速度最大为 3m/min，横向位置容许偏差为 0.5mm。
- 性能要求。应被检测到的最小缺陷的尺寸是 0.08mm。处理时间要规定成处理速度的函数。必须在下一次采集开始之前处理完前一张图片。
- 信息交互接口。如上所述，需要用于控制以及设置管径的用户界面，用于打印输出和存储的检测协议，以及通过 TCP/IP 在线访问缺陷数据的接口。
- 安装空间。系统要能直接观察管道。距管中心的最大距离为 400mm。在运动方向上，系统可采用 700mm 的距离。相机与电脑之间的距离为 3m。各组件应被罩住，以防止受滴水影响。

2.6.2.3 设计

(1) 相机的类别。因为管道在移动，并且我们需要相当高的分辨率，因此采用线扫描的配置更好。为了实现对管道整周的全覆盖观测，至少应用六台相机。这样一来，计算成本时需纳入六台线扫描相机、足够数量的帧捕获器以及处理硬件的成本，这些开销超出了预算。

因此，只能使用面阵相机。对于单帧图像的获取来说，相机的触发，以及将两张或更多图像中的同一缺陷合并到一起，都是要考虑的问题。

(2) 视场。使用六台相机时，每台相机需要覆盖的视场尺寸与管道半径相当，如图 2.13 所示。

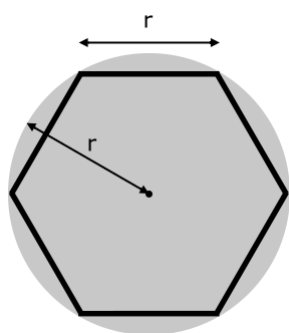


图 2.13: 使用六台相机时所需的视场。

指定的最大的直径为 32mm，则半径就是 16mm。定位容许偏差小于 0.5mm。因此，单台相机所需具备的视场可用下式计算：

$FOV_{hor} = \text{零件最大尺寸} + \text{位置容许偏差} + \text{边缘宽度} + \text{为适配相机传感器长宽比作出的调整量}$

$$FOV_{hor} = 16\text{mm} + 0.5\text{mm} + 1\text{mm} = 17.5\text{mm}$$

采用长宽比为 4 : 3 的面阵相机，则视场在垂直方向的尺寸可由下式计算：

$$FOV_{vert} = FOV_{hor} \cdot \frac{3}{4} = 17.5\text{mm} \cdot \frac{3}{4} = 13.125\text{mm}$$

因此，计算出的视场大小为 17.5mm × 13.125mm。相机的安置方式如图 2.14 所示。

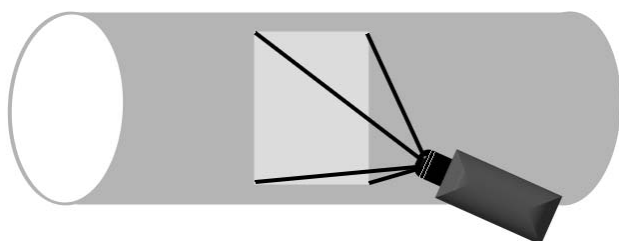


图 2.14: 相机的安置位置。

¹原文 inline，即“内联”。——译者注

(3) 分辨率。应被检测到的最小缺陷的尺寸是 0.08mm。因为检测流程是以 blob 分析为基础的，所以对于最小的缺陷，至少需用 3 个像素来映射。因此，需要的空间分辨率为 0.027mm/像素。

结合视场，可算出相机的分辨率为

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

(4) 相机、帧捕获器和硬件平台的选取。依据上述计算值，可选一台标准 VGA² 相机。我们选用 IEEE 1394 这种相机接口技术，因为相较于 Camera Link 等接口，它易于与其他部件配合且成本低廉。最终选择一台传感器分辨率为 656 × 491 像素的宝视纳 (Basler) 601f CMOS 相机。

我们利用 656 个像素来映射 17.5mm 的视场 (FOV)，由此可得空间分辨率为

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

最小的缺陷尺寸为 0.08mm，于是该种缺陷会由 3 个像素来映射。

使用一台搭载 Windows XP 的 19 寸电脑作为硬件平台。将相机连接至两张美国国家仪器公司 (National Instruments) 的 PCI-8254R 板卡，该板卡具有可重新配置的 I/O 口且能连接 IEEE 1394 口。

(5) 镜头设计。离管心的最大距离规定为 400mm。则可算出放大率为

$$\beta = -\frac{\text{传感器尺寸}}{FOV} = -\frac{6.49\text{mm}}{17.5\text{mm}} = -0.371.$$

传感器尺寸是由单像素大小 (9.9 μm/像素) 和传感器分辨率 (656 像素) 相乘得到。

利用放大率，结合离管中心的最大距离 400mm 减去相机和镜头的长度 200mm，可计算出焦距为

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

则最终选取 50mm 镜头。

由此得出的物距 d 为³

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

²VGA (Video Graphics Array, 视频图形阵列) 是 IBM 于 1987 年提出的一个使用模拟信号的电脑显示标准，传输红、绿、蓝模拟信号以及同步信号 (水平和垂直信号)。标准 VGA 接口共有 15 针，分成 3 排，每排 5 个孔，是显卡上应用最为广泛的接口类型。具有 256 KiB 的 Video RAM，最高 640 个水平像素、480 线，支持 16 色和 256 色模式，总共 262,144 种颜色的色版 (红、绿、蓝三色各 6bit，总共 (2⁶)³ 种)，频率为 25.2 MHz 或 28.3 MHz，刷新频率最高 70 Hz。——译者注

³原文如此，似应为 a 。——译者注

根据 2.15，可求出透镜的延伸距离

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

由于该距离无法通过调焦来实现，因此采用一根 15mm 长的延长管。

(6) 光源选择。由于管道是透明的，所以使用漫射背光。如此缺陷会显得暗淡。由于需将快门时间设置为较低的值，因此需要高光强。管道在图像中移动 1 个像素所需的时间可由此式计算

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

其中 v 是移速 (3 m/min=50 mm/s)， Rs 是扫描方向的空间分辨率。

因此，

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

最终选定尺寸为 50mm×50mm 的高功率 LED 背光灯。由于光足够强，因此不需要开闪光灯。

(7) 机械设计。在机械设计方面，需要考虑相机和照明灯的安装。由于不同的光源可能相互干扰，因此将相机和照明灯放置成一横排。单台相机的安装图示如图 2.15。

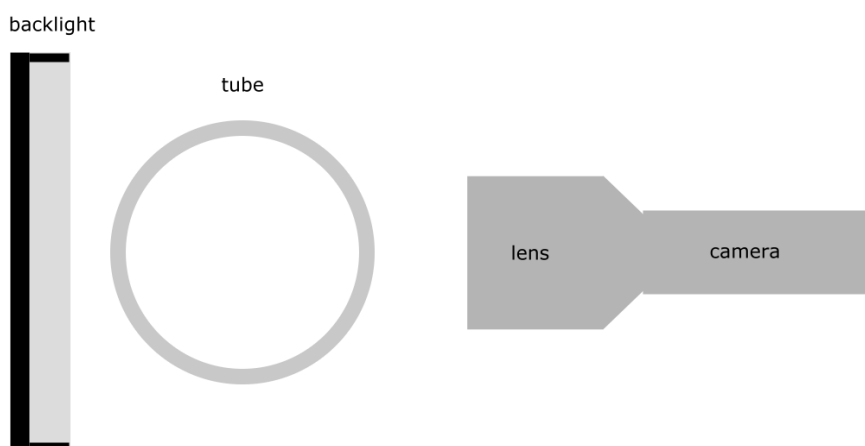


图 2.15: 一组相机和灯的侧视图。

由于设备需要防水，所以照明灯和摄像头都安装在罩子里，电脑也是如此。

(8) 电气设计。要求电缆长度在 4.5 m 以下，符合 IEEE 1394 规范。

(9) 软件。在软件库方面，使用 Microsoft Visual C# 编写了一个 CTMV 软件包。在图像采集方面，选用了美国国家仪器公司的 Imaq (适用于 IEEE 1394 标准) 的 API。

在图像采集方面，相机的触发须使其捕获的各帧之间有预设的 2 毫米重叠。图 2.16 显示了一台相机连着拍摄的四帧。

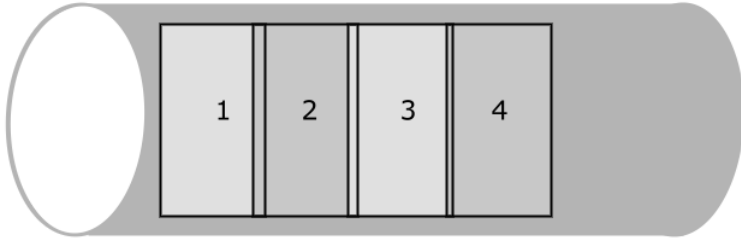


图 2.16: 由一台相机捕获的若干帧。

利用能指示管道运动情况的旋转编码器来触发相机（图 2.17）。将编码器信号连接到帧捕获器的一个特别设计的输入端。利用 FPGA 计数器，触发信号由一张板卡产生并传输到相机。触发并不由主机上的应用软件来处理，而是由 FPGA 实现。这样既节省了计算时间，又保证了触发环节的高可靠性。

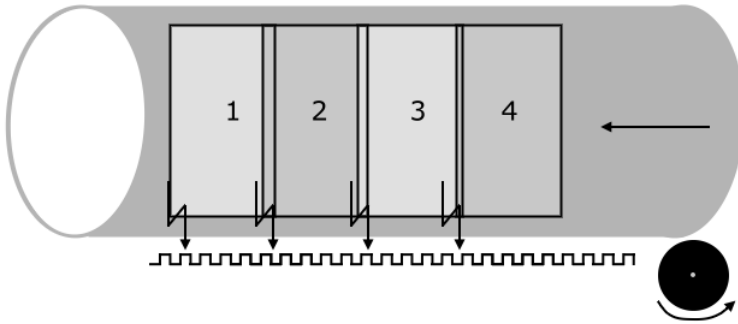


图 2.17: 利用旋转编码器生成触发信号。

由于管是弯曲的，因此在图像中呈现出的光是不均匀的。图 2.18 显示了一根管子的图像。为提供均匀光照，满足后续检测要求，故采用遮光罩。在检测开始时先进行校正，参考值是由若干图像平均计算得到。

70



图 2.18: 由该系统拍摄到的管道。

特征定位和划分是通过阈值分割来实现的。由于使用了遮光罩，因此不必对不同管道调整阈值。图 2.19(a) 和 (b) 分别显示了原始图像中的缺陷和经过阈值分割后的缺陷。

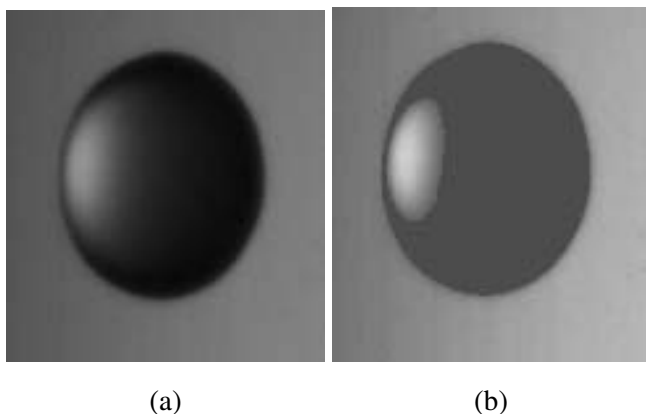


图 2.19: (a) 拍摄到的缺陷。(b) 由系统作过阈值分割的缺陷。

分割后，通过 blob 分析来解析特征。测量每个 blob 的高度、宽度和面积。此外，还对缺陷进行了分类，例如将其归为颗粒和液滴。为作测量，必须检查缺陷是否可见于多帧中，若是，则为了正确测量，必须将它们合并。此种情况如图 2.20 所示。

在度量和分类之后，缺陷被添加到合适的缺陷类目中。如果可接受的缺陷的数量超过定义的容许值，就会发出一个错误信号。

此外，在缺陷日志数据库中添加一个条目，包括缺陷的宽度、高度和图像。

71

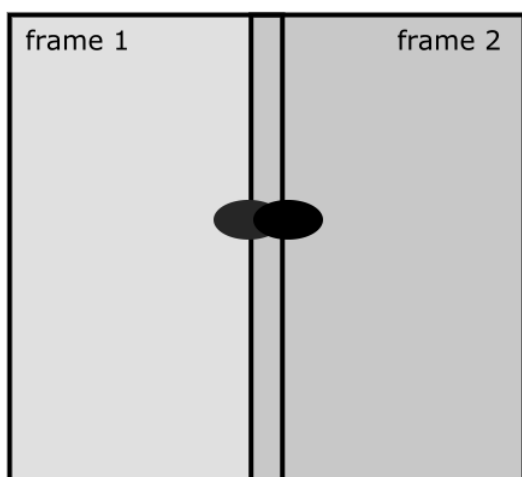


图 2.20: 将在两帧中分别能看到一部分的缺陷图案合并。