

文章编号 1004-924X(2001)06-0519-04

# 用于细小工业管道的视频探测器

程维明, 李国栋

(上海大学 机电工程与自动化学院, 上海 200072)

**摘要:** 介绍一种在内径 20mm 的工业管道内进行探测的视频传感器, 对所用的微小型 CCD 摄像头、照明用 LED 及其结构进行了讨论。介绍了用于图像采集、显示的硬件结构, 对采集到的图像进行直方图均衡化处理, 获得较好的处理结果, 提高了操作人员观察的效率。

**关键词:** 视频探测器; 工业管道; 图像处理

中图分类号: TP212.9 文献标识码: A

## 1 引言

火力发电厂、核电厂、化工厂、民用建筑等用到的各种各样的微小管道, 为安全使用需要定期检修, 但均受到空间狭小, 劳动条件极差(如有一定辐射剂量等)的限制, 使检测、维修存在一定难度。以核电站热交换器为例, 它是核电厂的主要设备之一, 由数千根内径为约 20mm 的传热管组成传热管束, 管内为带放射性的冷却剂, 管外为二次侧水。为防止放射性物质的泄漏, 需要对传热管进行定期检查。而使用微机器人作为检测和维修的载体进入管道内部作业<sup>[6]</sup>, 可以有效保护操作人员人身安全及健康, 大大提高作业效率, 减少事故发生及经济损失<sup>[1-2]</sup>。

对管道内部这类非结构化环境, 采用多传感器集成(光、机、电等)的方法进行检测是比较有效的方法。尤其是以摄像头为基础的视频传感器, 由于其直观性, 已引起了足够的重视<sup>[3]</sup>。

视频探测器具有信息直观, 可以实现自动检测或计算机辅助检测等特点。该探测器由四个部分组成: 图像获取部分, 照明部分, 图像接收显示部分, 图像处理部分。

图像获取部分和照明部分随机器人在管道内移动, 其外形尺寸及重量必须适合搭载在机器人上, 与机器人连接方便。

图像接收显示部分主要提供由检测人员直接观察的手段, 应能清晰地观察到管内情况, 图像稳定, 照度均匀。

图像处理部分提供计算机辅助检测和缺陷识别, 减轻操作人员劳动强度, 提高整机的自动化水平。

## 2 图像获取

### 2.1 CCD 摄像头

在直径 20mm 左右的管道中, 对 CCD 摄像头的基本要求是体积小, 重量轻。本文选用东芝 IK-CU43 小型 CCD 摄像头, 其主要参数见表 1, 其性能特点基本满足管内探测的需要。

Table 1 Parameters of the CCD camera

Visual angle (H)	93°
Visual angle (V)	71°
Max. diameter	7mm
Weight	4g

收稿日期: 2001-08-20; 修订日期: 2001-10-29

基金项目: 国家教育部骨干教师资助计划和国家自然科学基金资助重点项目(69889501)

## 2.2 LED 照明光源

光源采用多 LED 照明, 本装置共采用 8 个 LED 用于照明。LED 具有体积小、重量轻、耗电少、寿命长、亮度高等优点。通常 LED 的照明区域受到其有效立体角的限制。采用这种方式照明时, 应将其照明区域与 CCD 摄像头的有效成像区域结合起来分析(如图 1 所示)。

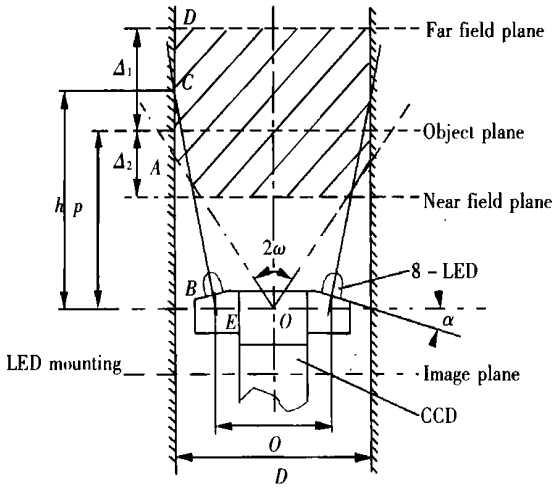


Fig. 1 Layout of CCD and LED.

在图 1 中阴影区域为能成清晰像的区域, 图中:  $\Delta_1$  为远景深度,  $\Delta_2$  为近景深度,  $P$  为对准平面到光瞳中心的距离,  $2\omega$  为镜头组的视场角,  $h$  为 LED 中心线与管壁交点到光瞳中心的距离,  $d$  为 LED 在支架上的分布直径,  $D$  为管道直径。

设计 requirements 是 LED 最亮的区域应处于 CCD 所能清晰看到的区域, 且尽量不在 CCD 的视场边缘区域, 根据几何关系可得:

$$\tan \alpha = \frac{D-d}{2P + 2\Delta_1 + D/\tan \omega} \quad (1)$$

由此可以求出 LED 支架上安装 LED 的锥面与管道轴线的垂面间的夹角。

## 2.3 图像采集

CCD 的输出信号为模拟信号, 计算机(PC)无法直接接收模拟信号, 通常为计算机配备一图像采集卡, 用于将 CCD 传入的模拟信号转换为数字信号。本文采用的是中科院自动化所的高效黑白图像采集卡(CA-MPE1000), 该卡的主要特点为其像素分辨率为  $768 \times 576$ , 8bit, 256 级灰度, 并提供有基于 C++ 语言的 32 位动态链接库以供

进行二次开发。

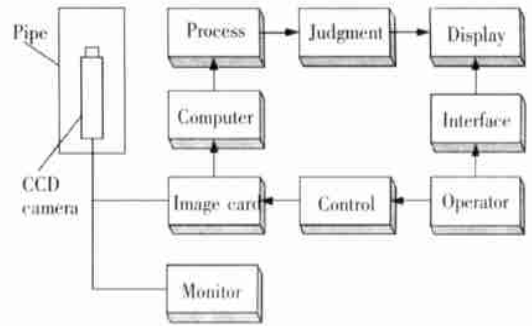


Fig. 2 Hardware of image capture

管道内的 CCD 摄像头<sup>[5]</sup>将管道内壁的情况摄取下来, 而后经分路器将模拟信号一路送至工业监视器监视, 直接显示出来, 另一路送至图像采集卡(见图 2)。操作人员可通过工业监视器观察管道内壁的情况, 如发现问题, 则通过软件控制界面控制图像采集卡将有疑问处的图像抓取并存储下来, 该图像经计算机初步处理后在显示器上回显。操作人员也可在 Windows 环境下对所获得的图像进行去噪声和增强处理, 突出显示管道内壁的缺陷, 从而实现计算机辅助检测。

## 3 图像处理

使用图像处理技术的目的是为了替代和扩大人的视觉功能, 使管道内壁的缺陷信息能够更清晰的体现出来, 让操作人员更加容易辨认缺陷的存在和缺陷的类型。

直方图表示数字图像中每一灰度级与其出现的频数或相对频数之间的关系。直方图均衡化是一种直方图修正算法。一幅对比度较小的图像, 其直方图分布一定集中在某一比较小的范围之内。经过直方图均衡化处理的图像, 其所有灰度级出现的相对频数相同, 此时图像的熵最大, 图像所包含的信息量最大<sup>[4]</sup>。

对原始图像的灰度级  $s$  作以下灰度变换

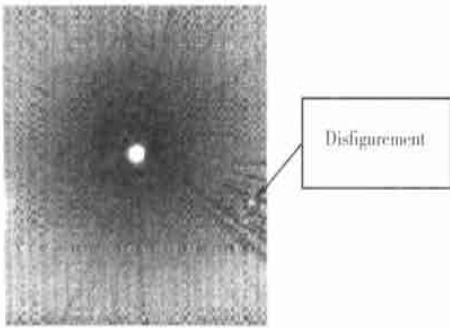
$$t_k = T(s_k) = \sum_{i=0}^k \frac{n_i}{n} = \sum_{i=0}^k p_s(s_i) \quad (0 \leq s_k \leq L-1; k = 0, 1, \dots, L-1) \quad (2)$$

其中,  $p(s)$  表示其灰度分布,  $t$  为变换后的灰度分布,  $L$  为图像的灰度级。利用变换  $T(s)$  改变图像的灰度概率密度函数, 从而改变图像的灰度分

布, 达到改善图像的对比特性的目的。



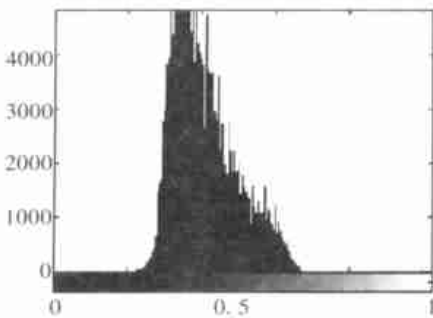
(a) Before processing.



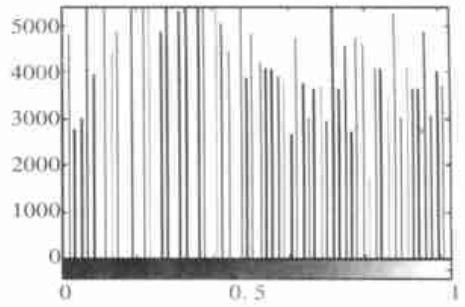
(b) After processing.

Fig. 3 Processing result of histogram equalization.

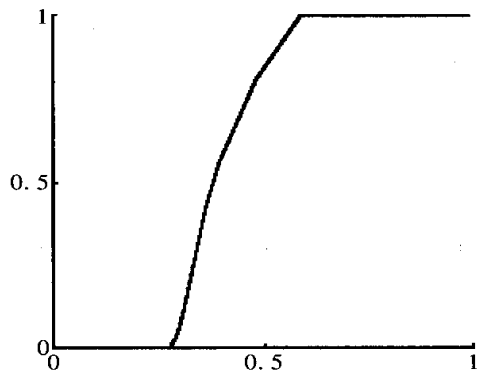
图3(a)为从管道内获得的图像, 可以看到其对比度很差, 大量信息被丢失, 细节无法分辨。对这幅图进行直方图均衡化处理, 得到图3(b), 可以看到图像质量大大改善, 右下角的缺陷清晰可见。图4(a)和(b)分别为处理前后的直方图, (c)为灰度变换曲线。



a) Histogram before equalization.



b) Histogram after equalization.



c) Gray transformation.

Fig. 4 Histograms before and after equalization.

### 4 结 论

细小工业管道内的探测器由于受到结构尺寸的限制, 各部件都必须满足微型化的要求, 无论是 CCD 还是用于照明的 LED, 其尺寸都必须是适合于在直径 20mm 左右的管道内使用。又由于管内的探测条件较差, 所获得的图像质量也较差, 必须采用图像处理的方法来较大幅度提高图像质量<sup>[56]</sup>, 以减轻操作人员的劳动强度, 提高观察效率。

本文对视频探测器的结构进行了设计, 满足了在管内使用的要求。并尝试使用直方图均衡化来增强所探测到的图像, 直方图均衡化处理方法简单, 效果较好, 并且处理过程可以不需人工干预, 便于实现自动处理。

**参考文献:**

- [ 1 ] Winfried Hg. A wheeled multijoint robot for autonomous sewer inspection[A]. Proc. IROS[C], 1997: 1687- 1692.
- [ 2 ] Hollingum Jack. Robots explore underground pipes[J]. Industrial Robot, 1998, 25(5): 321- 325.
- [ 3 ] 张晓华. 基于视觉传感器的管内机器人位置检测[J]. 机器人, 1997, 19(3):250- 252.
- [ 4 ] 章毓晋. 图像处理和分析[M]. 北京:清华大学出版社, 1999.
- [ 5 ] 佟首峰, 阮锦, 郝志航. CCD 图像传感器降噪技术的研究[J]. 光学 精密工程, 2000, 8(2): 140- 145.
- [ 6 ] 张业鹏, 何涛, 文昌俊, 等. 机器视觉在工业测量中的应用与研究[J]. 光学 精密工程, 2001, 9(4): 324- 329.

**In- pipe Video Detector for Small Pipes**

CHENG Weir ming, LI Guo dong

(*Shanghai University, School of Mechatronics Engineering and Automation,  
Shanghai 200072, China*)

**Abstract:** An in- pipe video detector for inspecting pipes of about 20mm in diameter is introduced. The structure consisting of a small CCD camera and LEDs for illumination is discussed, and the hardware for capturing and displaying images is described as well. With the method of histogram equalization, images captured by the detector are processed to obtain good and useful results, and they can be viewed easily and effectively by operators.

**Key words:** video detectors; industrial pipes; image processing

作者简介:程维明(1955- ),男,浙江宁波人,博士,教授,博导。主要研究领域为工程光学、精密检测、计算机辅助测试和图像处理技术,曾获上海市科技进步一等奖和国家科技进步三等奖,在国内外重要刊物上发表论文 40 余篇。

E- mail: wmcheng@yc.shu.edu.cn

李国栋(1976- ),男,安徽省人,硕士研究生。专业为精密仪器及机械,曾获中国仪器仪表奖学金二等奖。目前在深圳华为公司工作。