

基于 STM32 的非接触测量系统设计

李国润 罗胜 魏琰琰 李明 祝增辉
(山东农业大学 机械与工程学院 山东 泰安 271018)

摘要: 随着生产与技术的迅速发展, 非接触式物体形状和尺寸自动测量技术在电子科技、工业生产领域都具有重要的应用价值。本系统选择 STM32F103ZET6 作为总控制芯片, 可通过矩阵键盘切换不同模式; 利用 TOF 激光雷达搭配二自由度云台, 根据余弦定理, 可推算标识物几何尺寸(边长和高), 进而通过循环扫描边界的算法实现对标识物形状的识别。

关键词: 非接触式测量; STM32F103ZET6; 测量; TOF 激光雷达; 形状识别

1 系统方案

本系统选择 STM32F103ZET6 作为总控制芯片; 将 TOF 激光雷达固定于舵机桥臂, 通过舵机带动 TOF 激光雷达实现二自由度运动, 并实时采集距离信息; 采用 OLED 显示屏和矩阵键盘作为人机交互接口, 实现不同识别模式的切换; 电源模块、空气闸刀作为辅助元件, 下面分别论证这几个模块方案的选择。

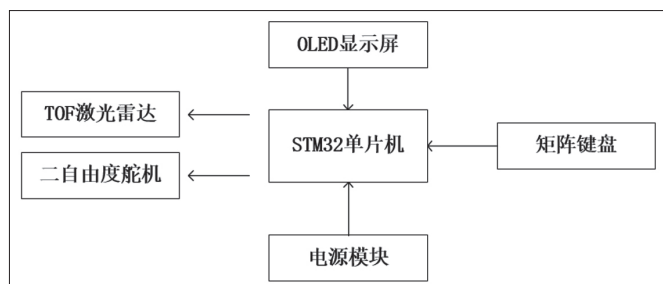


图 1 系统总体框图

1.1 系统主控芯片的论证选择

方案一:

采用 AT89C51 系列单片机作为控制的核心。51 单片机价格便宜, 应用广泛, I/O 口的设置和使用操作简单。但是 51 单片机的运行速度过慢, 抗静电抗干扰能力弱, 内部资源和存储器功能较少, 而且无 ADC, 还需要用外接电路实现 AD 转换, 使硬件电路变得复杂。另外, 51 单片机完成系统功能较为困难。

方案二:

采用 STM32F103ZET6 单片机作为控制的核心。STM32F103ZET6 单片机是 STMicroelectronics 公司生产的 32 位单片机, 储存功能强大, 具有丰富的输入/输出端口资源, 具有多种寄存器功能, 而且端口引脚大多为复用口, 具有多功能, 所有端口都具有通用 I/O 口功能。内部本身自带 PWM、AD 转换功能, 可以直接用, 省去了单独做 PWM 模块和 A/D 转换模块, 节省大量时间。完全能够实现本系统的所有功能。

综合考虑, 本系统选择方案二。

1.2 目标识别与测距模块的论证与选择

方案一:

采用超声波模块来进行目标识别和测距。超声波模块价格各异, 需要电压小, 功率小, 调试简单, 作用距离近, 过远会产生很大误差。

方案二:

采用激光雷达模块来进行目标识别和测距。激光雷达模块体积小, 低成本, 低功耗, 价格较超声波模块而言相近, 盲区小, 测试范围远, 准确度高, 且不受环境因素影响。

方案三:

采用摄像头模块进行目标识别和测距。利用摄像头模块可以采用机器视觉的方式进行测距和判断形状, 但是其对于环境的要求较高, 对于同一地点, 不同强度的光线, 可能造成截然不同的效果。

综合考虑, 本系统选择方案二。

2 系统理论分析与实现

2.1 功能分析

本装置主要功能有三:

非接触式测量物体几何中心距本装置的距离。

识别物体形状(包括正三角形、圆形和正方形)、用激光笔指向标识物的几何中心并显示标识物的几何尺寸(包括边长和高, 若为圆形只需求得直径即可)。

在一定范围内自动搜寻目标, 并完成前两步。

注: 系统距标识物 200 ~ 300cm 处放置, 标识物安装于背景板前方 5cm 处; 标识物高度在 30 ~ 40cm 之间, 颜色任意, 实际测量误差不得超过 5cm。

分析可知, 以上该功能的核心是判断图形的形状, 并准确找出图形的几何中心。

2.2 几何尺寸测量原理及算法

为保证图形几何尺寸计算正确, 采用寻找中点的算法, 其核心在于能否准确地判断标识物的边界。由于标识物和背景板具有一定距离, 因此通过控制水平舵机带动 TOF 激光雷达做水平面内的转动, 记录下前后两次转动角度 TOF 激光雷达所返回的距离, 在此将本次距离记做 Dis, 角度记做 Ang; 前一时刻距离和角度分别记做 Dis₋₁, Ang₋₁; 判断是否到达边界即可按如下公式判断:

$$X = \text{Dis} - \text{Dis}_{-1} - \frac{5}{\cos \text{Ang}}$$

若 $X < 0$ ，则认为未到达边界，继续向同方向转动 1° 。

若 $X \geq 0$ ，则认为已超出边界，将前一时刻的角度和距离分别保存在 STM32 单片机中，并返回初始位置，随后向反方向转动 1° ，重复上述过程。

经上述步骤，将 STM32 已保存的两次水平角度和距离分别记做 Ang_s 、 Ang_o 、 Dis_s 、 Dis_o 。图形的水平几何中心即在角度 $(\frac{Ang_s - Ang_o}{2})$ 上，将舵机旋转至角度 $(\frac{Ang_s - Ang_o}{2})$ 处，如图 2 中①、②所示。

通过控制竖直舵机带动 TOF 激光雷达做竖直面内的转动，具体流程和判断条件同上，将 STM32 已保存的两次竖直角度和距离分别记做 Ang_l_s 、 Ang_l_o 、 Dis_l_s 、 Dis_l_o 。将舵机旋转至角度 $(\frac{Ang_l_s - Ang_l_o}{2})$ 处，该处即图形的竖直几何中心，如图 2 中③、④所示。

利用余弦定理：

$$A^2 = B^2 + C^2 - 2 \times B \times C \times \cos \text{Angle}_a$$

其中 $B = Dis_l_s$ ， $C = Dis_l_o$ ， $\text{Angle}_a = Ang_l_s - Ang_l_o$ ，如图 3 所示；

若该标识物为三角形则，则标识物的高 $H = A$ ，边长 $S = \frac{2}{\sqrt{3}} A$ ；

若该标识物为正四边形，则标识物的高 $H = A$ ，边长 $S = A$ ；

若该标识物为圆形，则标识物的直径 $D = A$ 。

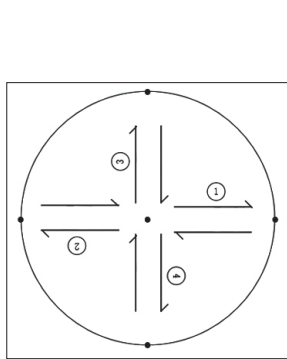


图 2 判断计算几何尺寸原理图

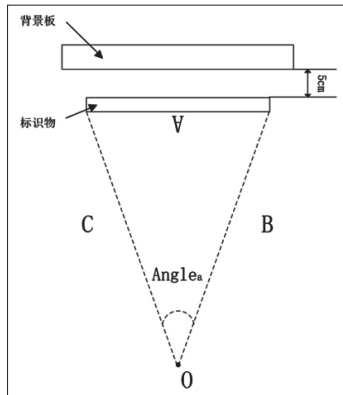


图 3 装置使用余弦定理示意图

2.3 形状识别原理及算法

为保证识别的准确性，采用循环扫描判断边界的算法进行形状识别，其原理是先定位水平和竖直集合中心的交点，即在角度 $((Ang_s - Ang_o)/2, (Ang_l_s - Ang_l_o)/2)$ 处。随后在水平方向移动 $(Ang_s - Ang_o)/20$ 角度，如图 4 中①所示，记录下当前距离 SD_i ；向上扫描目标图形边界，如图 4 中②所示，并分别记录下角度和距离，记做 PA_i ， PD_i 。

由余弦定理可知：

$$PH_i = SD_i^2 + PD_i^2 - 2 \times SD_i \times PD_i \cos \left(PA_i - \frac{Ang_l_s - Ang_l_o}{2} \right)$$

$$PS_i = SD_i^2 + SD_{i-1}^2 - 2SD_i \times SD_{i-1} \cos \left(\frac{Ang_s - Ang_o}{20} \right)$$

其中， PH_i 为第 i 次测量的高， PS_i 为第 i 次测量的底边长。则第 i 次的斜率可以表示为：

$$K_i = \frac{PH_i - PH_{i-1}}{PS_i}$$

若该标识物为三角形则，则 $K_i = K_{i-1} = \dots = K_1$ ；

若该标识物为正四边形，则 $K_i = 0$ ；

反之，则该标识物为圆形。

若该标识物为三角形，则几何中心角度坐标为 $(\frac{Ang_s - Ang_o}{2}, Ang_l_o + \frac{Ang_l_s - Ang_l_o}{3})$ ；

若该标识物为正四边形或圆形，则几何中心角度坐标为 $(\frac{Ang_s - Ang_o}{2}, \frac{Ang_l_s - Ang_l_o}{2})$ ；返回该几何中心，如图 4 中③所示。

2.4 程序设计

接通电源后，操作人员可通过按键选择测量模式，选择完毕后，装置将自动运行。

首先搜索中点（具体算法见 2.2 几何尺寸测量原理及算法），完毕后将进行形状识别（具体算法见 2.3 形状识别原理及算法）；根据形状的不同，系统 will 自动调用不同的公式进行几何尺寸的计算，计算完毕后在 OLED 显示屏显示；最终舵机返回标识物形心。

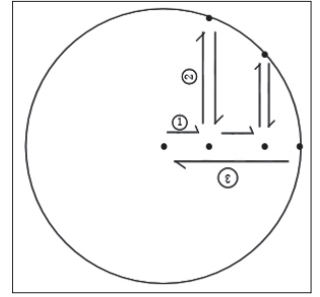


图 4 判断目标物形状原理图

3 整体试验

3.1 试验方案

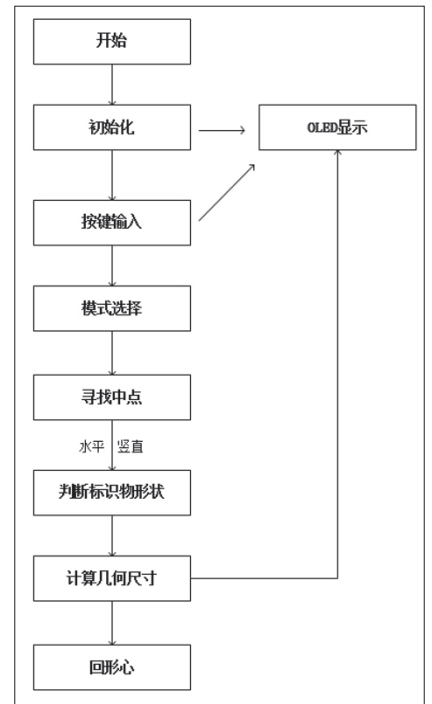
搭建好测试场地并准备好标识物和背景板，系统通电。

分别对标题 2.1 中三项功能进行测试
通过按键选择测试内容

观察并记录下显示 OLED 显示屏显示的距离、形状和几何尺寸，同时用激光测距仪测量实际距离。

3.2 试验结果

系统测得的距离数据与误差如表 1 所示，形状识别结果、理论尺寸数据与高度误差如表 2 所示。



由表 1 可以看 图 5 程序流程图

表 1 测距模式数据与误差

实际距离 (cm)	测量距离 (cm)	误差 (cm)
215	214	-1
238	237	-1
259	259	0
267	266	-1
283	283	0

(下转第 13 页)

操作中存在的化学反应对压力容器实际生产效果带来影响。工作人员要不断提高自身的综合素质和专业能力，在设计过程中对先进的设计理念和设计方式进行充分应用，进而提高设计工作的科学性和有效性。

3.3 在材料处理中的应用

在压力容器众多设计内容当中最为关键的工作就是材料的处理，在不同领域当中应用压力容器的性能参数之间存在一定的差异，这就要求工作人员要对材料的性能和选择予以足够重视。在压力容器实际运行过程中要对核心工作和首要工作任务进行充分了解，这些工作当中都会有热处理技术的参与。与此同时，对于一些形状容易发生改变的金属材料来说，热处理技术都重要性就充分体现出来，在通常情况下影响容器效果的重要内容就是热处理技术应用过程中的温度和时间，温度变化就会导致物理变化的发生。为此，工作人员要对时间和温度进行严格的控制，根据实际情况来对这两方面因素进行适当的调整，进而降低不良化学反应出现的概率，从而压力容器设计的整体效果也会得到相应的提高。

3.4 在石油压力容器中的应用

石油行业我国的重要能源产业，其生产是否安全将会对整体民生产生较大影响，所以在进行石油压力容器的生产过程中往往要求更为严格，其包括但不局限压力容器的全部构件均需具有良好的抗腐蚀、韧性高、硬度强、抗磨损性能

良好等特点。所以在可以将化学热处理技术运用到石油压力容器中以实现上述目标。化学热处理技术属于一类热处理技术，其不但具有冷却、加热以及保温等工艺，而且还具备渗硫、渗氮、渗硼以及渗氮等工艺，所以能够让部分韧性较高的工件基体有效融合起耐磨损、抗腐蚀、高硬度的渗层，最终有效提升压力容器的耐用性。

4 结语

由此可见，压力容器对于我国工业生产各个领域的发展来说都是必不可少的，压力容器的安全性不容忽视，这就要求相关工作人员要对压力容器的设计工作予以足够重视，充分应用先进的设计理念和设计方式，切合实际来对热处理技术进行充分应用，严格控制热处理技术应用过程的时间和温度，这样才可以达到良好的设计效果，切实提高压力容器整体的质量。

参考文献：

[1] 赵岩. 热处理工艺在压力容器设计中的控制要点分析 [J]. 化工设计通讯, 2020, v.46;No.211(01):119-120.
[2] 李春娥. 热处理技术在压力容器设计中的应用探究 [J]. 区域治理, 2019, 000(007):281.
[3] 安然. 压力容器设计中的热处理问题重点分析 [J]. 中国化工贸易, 2019, 011(035):28.

(上接第 11 页)

表 2 形状识别结果、理论几何尺寸及高度误差

标识物 形状	实际边长 S/ 高 H (cm)	形状识别 结果	理论边长 S/ 高 H (cm)	高 H 误差(cm)
正方形	40.0/40.0	正方形	40.5/40.5	-0.5
正方形	35.0/35.0	正方形	33.7/33.7	1.3
正方形	30.0/30.0	正方形	29.3/29.3	0.7
正三角形	40.0/34.6	正三角形	38.9/33.6	-1.0
正三角形	35.0/30.3	正三角形	35.3/30.5	0.2
正三角形	30.0/25.9	正三角形	29.4/25.4	-0.5
圆形	125.6/40.0	圆形	124.7/39.7	-0.3
圆形	109.9/35.0	圆形	104.9/33.4	-1.6
圆形	94.2/30.0	圆形	92.9/29.6	-0.4

出：测距模式效果较好，误差仅稳定在 1cm 以内。由表 2 可以看出：标识物形状识别结果较好，但高 H 误差较大，最大误差已达到 1.6cm。

由实验数据可知：TOF 激光雷达传递的距离信息较准确，但本装置角度是通过舵机推算出来的，存在较大误差，因此对于几何尺寸测量结果较距离测量结果误差较大。

4 结语

基于 STM32 的非接触式测量系统设计，设计简单，便于携带，通过核心算法，可简单识别基本图形形状（如圆形、正三角形和正方形）；通过 TOF 激光雷达进行距离测量，精度较高，最大误差为 1cm。

基于 STM32 的非接触式测量系统设计，由于装置转动角度记录未采用角度传感器，直接通过舵机推算而来，记录的转动角度与实际转动角度存在部分偏差，导致几何尺寸的测量与实际尺寸相差较大，最大误差为 1.6cm，可通过增加旋转编码器来提高系统精度。

系统配备完备的人机交互系统，操作人员可根据测试条件需求，选用相应的测试模式，选择完毕后，系统将自行启动，操作简单，数据直观，形状判别准确，可推广至其他的规则物体的测量。

作者简介：李国润（2000-），男，汉族，山东菏泽人，山东农业大学在读，学生，机械设计制造及其自动化专业。