

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.04.008

基于容积变化的模拟泄漏系统设计*

熊四昌,唐浩然,高玉科

(浙江工业大学 特种装备制造与先进加工技术教育部重点实验室,浙江 杭州 310014)

摘要:针对气体泄漏检测设备检测精度标定的问题,开展了模拟泄漏原理的分析,建立了模拟泄漏率与步进电机转速之间的关系,设计了一种基于容积变化的模拟泄漏系统。将 S3C2440 作为系统主控制器,搭建了系统的硬件电路,设计了步进电机驱动实现了对转速的控制;设计了光电编码器驱动实现了对步进电机转速准确的测量;在 Linux 开发环境下采用 Qt Creator 编写了界面程序,可用于实时显示模拟泄漏率。最后建立了实验平台对模拟泄漏系统进行验证。实验结果表明,该模拟泄漏系统可以为测量气体泄漏检测设备的检测精度的提高提供可靠的依据,有良好的应用前景。

关键词:检测精度;嵌入式 Linux;步进电机;模拟泄漏

中图分类号:TH863; TP24

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)04-0421-05

Design of simulation leak system based on volume change

XIONG Si-chang, TANG Hao-ran, GAO Yu-ke

(The Ministry of Education Key Lab of Mechanical Manufacture & Automation, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Aiming at the problem of calibrating detection accuracy of the gas leak detection device, after analysis of the simulation leak principle, the relationship between rotational velocity of the step motor and simulation leak rate was established. A simulation leak system based on change of volume was designed. The S3C2440 was used to be the primary controller and the hardware circuit was built. The stepper motor drive was designed to control the speed of electromotor and the photoelectric encoder drive was designed to exactly measure motor speed. Qt Creator was used to compile the graphical user interface program on the Linux operating environment, which can show real-time simulation leak rate. Finally the experimental platform was set up to test system. The results indicate that the simulation leak system can provide the reliable basis for measuring detection accuracy of the gas leak detection device and have good prospect of application.

Key words: inspection accuracy; embedded Linux; stepper motor; simulation leak

0 引 言

气密性检测已成为密封器件的一种重要的检测指标,已经渗透到机械、军工、汽车、燃气、航空、电子、石油、物流配送等相关行业中^[1-2],在这些行业中泄漏检测正是保证产品质量和安全性能的重要手段^[3]。为了更加精确检测容器的泄漏量,国内外机构相继开发了一系列的气体检测设备和提出了相应的气体检测方

法。气体检测方法包括直压法、差压泄漏检测法、近期提出的容积补偿法^[4-6]。气体检测设备如天津长野福田仪器仪表有限公司设计的检漏仪 FL-800,北京拓奇星自动化技术有限公司的差压比较式泄漏检测仪 ALT3000,美国 USON 公司的 Qualitek mR 型泄漏检测仪;检测精度成了判断这些检测设备与气体检测方法优劣的重要依据之一;如何标定其检测精度对气体泄漏检测的发展有重要的意义,故经济型标定平台的研

收稿日期:2015-12-02

基金项目:浙江省科技计划资助项目(2008C21146)

作者简介:熊四昌(1960-),男,江西南昌人,博士,教授,硕士生导师,主要从事机电检测与控制研究。E-mail: xsc98@163.com

制成为急需解决的问题。

针对上述问题,本研究设计一套经济型便携式的模拟泄漏系统,采用“ARM9 + 步进电机 + 光电编码器”的控制架构实现低速、高稳定性、高精度的控制目的,使自身的误差控制在 1% 内。

1 模拟泄漏工作原理及其气路搭建

1.1 模拟泄漏工作原理

系统由气缸、滚珠丝杆、步进电机、位移传感器等组成。气缸的一个出气口与大气相通,另一个出气口与被测容器管路相连,将气缸的活塞杆与滚珠丝杆相连,借助滚珠丝杆可将步进电机的旋转运动转换为直线运动,从而实现控制气缸活塞杆进行向外的直线运动,使被测容器管路气体体积减小,从而实现被测容器的模拟泄漏;为实现实时获取步进电机精确转速,笔者在步进电机一端连接了增量式光电编码器,使用位移传感器来检测气缸的位移量,对模拟泄漏系统进行监控。

模拟泄漏原理如图 1 所示。

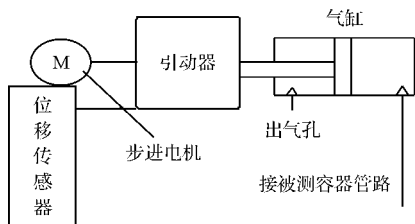


图 1 模拟泄漏原理图

模拟泄漏系统中,模拟泄漏量只与气缸活塞进给位移及其直径相关,即模拟泄漏量 ΔV_x 为:

$$\Delta V_x = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 s \times 10^{-3} \quad (1)$$

式中: s — 气缸进给位移, mm; d — 气缸直径, mm; ΔV_x — 泄漏量, ml。

气缸进给位移与单位时间内步进电机的转速和螺距有关,则气缸位移 s 为:

$$s = n \times l \times \Delta t \quad (2)$$

式中: n — 步进电机转速, r/min; l — 滚珠丝杆的螺距, mm。

步进电机转速 n 为:

$$n = \frac{f \times 60}{(360^\circ/a) \times x} \quad (3)$$

式中: f — 脉冲频率, Hz; x — 步进电机驱动细分数; a — 步距角, $^\circ$ 。

根据上述公式可知,一定检测时间 Δt 内,模拟泄

漏率 Q_x 为:

$$Q_x = \frac{\Delta V_x}{\Delta t} = \frac{\pi d^2 n l}{4} \times 10^{-3} = \frac{\pi d^2 f l \times 60}{4 (360^\circ/a) \times x} \times 10^{-3} \quad (4)$$

1.2 模拟泄漏的气路搭建

本研究依据模拟泄漏的工作原理搭建了模拟泄漏的气路结构。在该系统中,步进电机选用型号为 57BYG 系列的混合式步进电机,相电流为 2 A,相数为两相,步距角为 1.8° ,步距角精度为 $\pm 5\%$;编码器采用型号为 IHC3808 系列的增量编码器,脉冲数为 500,输出波形为方波;气缸选用 SMC 公司的 MA20100 $\times 10^6 50$ 型气缸。位移传感器选用 KTR 系列自复位式位移传感器^[7],该系列传感器可循环使用 100×10^6 次,量程为 $0 \sim 100$ mm,线性度 $\pm 0.05\%$,重复精度小于 0.01 mm,5 V 直流供电,输出电压信号为 $0 \sim 5$ V。滚珠丝杆选用螺距为 1 mm,行程为 120 mm 的日本 THK 公司 LM 系列引动器。模拟泄漏系统气路结构如图 2 所示。



图 2 模拟泄漏气路结构

1-电编码器;2-步进电机;3-引动器;4-气缸;5-直线位移传感器

2 硬件设计

2.1 系统平台硬件设计

根据系统的功能需要,本研究设计了模拟泄漏系统的硬件电路。它包括以 ARM9 为中心的核心板模块、电源模块、数据采集模块、步进电机驱动模块、光电编码器模块、LCD 数据显示模块、串口调试模块。硬件框图如图 3 所示。

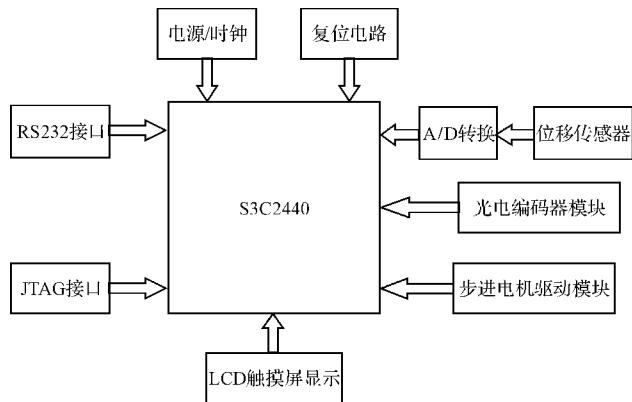


图 3 硬件框图

2.2 步进电机控制模块

S3C2440 通过控制步进电机控制器实现对步进电机的驱动。本研究采用 SN74LVC4245A 将 S3C2440 引脚的 3.3 V 转换为 5 V,再用 ULN2003 复合晶体管阵列提高输出电流以驱动步进电机控制器。步进电机模块原理图如图 4 所示。

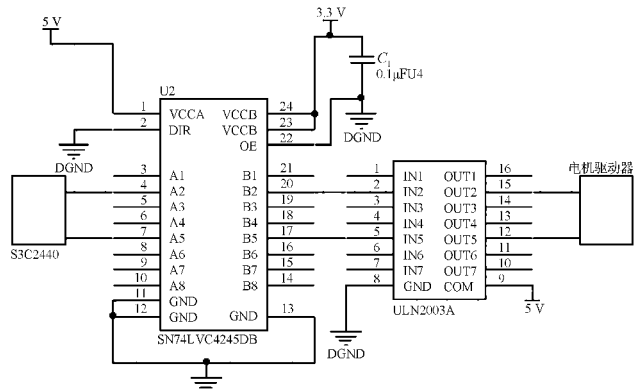


图 4 步进电机模块原理图

2.3 光电编码器模块

光电编码器与 S3C2440 的电平不兼容,故本研究将编码器 A、B 相接到 SN74LVC4245A 输入端,从输出端输出,一路接到 S3C2440 外部中断 EINT0 端,另一路接到外部中断 EINT1 端。

2.4 数据采集模块

数据采集模块主要由位移传感器与 16 位模/数转换器 ADS8344 组成。ADS8344 将位移传感器采集的气缸位移信号进行 A/D 转换,采用电压基准芯片 ADR445 为 ADS8344 提供 5 V 的参考电压。其原理图如图 5 所示。

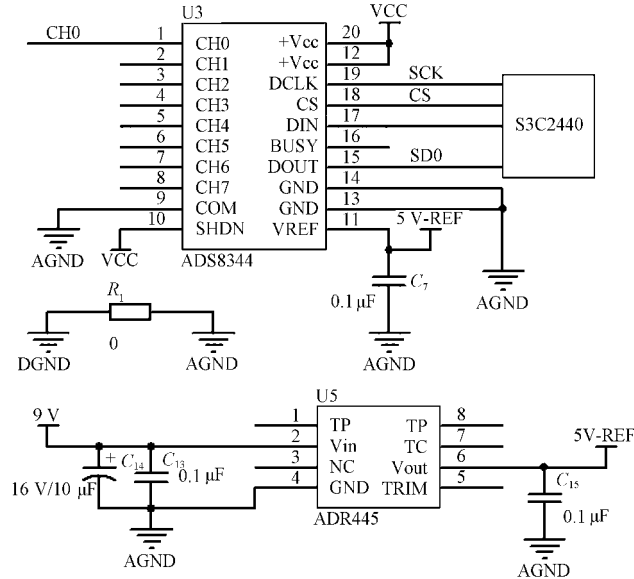


图 5 数据采集模块原理图

3 软件设计

3.1 软件架构

模拟泄漏系统软件主要分为 4 部分,分别是:步进电机驱动、光电编码器驱动、A/D 驱动以及 Qt 人机交互界面。模拟泄漏系统主要是通过人机交互界面设置模拟泄漏参数,并通过增量式编码器检测电机的实际转速,为防止模拟泄漏系统运行过程中超限及对工作位置的实时检测,系统采集气缸位移信号并将采集的数据进行软件滤波^[8]。模拟泄漏程序流程图如图 6 所示。

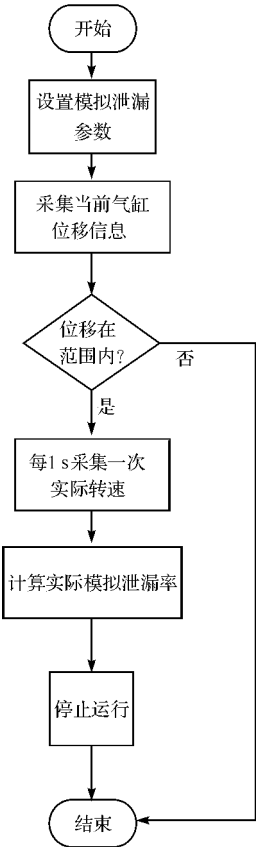


图 6 程序流程图

3.2 步进电机驱动程序设计

步进电机控制主要是转速及方向的控制,速度调节的实现主要是借助定时器实现单位时间内脉冲数的变化实现对步进电机的速度控制^[9-10],而方向控制则需要借助对 I/O 的控制实现。步进电机的驱动主要流程如下^[11]：

- (1) 使用 misc_register 函数完成字符设备的注册;
- (2) 完成函数操作集 file_operations 结构的填充以及 ioctl 函数的编写;
- (3) 设置定时器 0 的频率:通过设置定时器分配寄存器 TCFG0 与 TCFG1 完成定时器 0 工作频率的设置;

(4) 定时器 0 初始值与比较值的设置:根据人机交互界面传入的电机速度参数通过寄存器 TCMPB0 与 TCNTB0 设置定时器 0 的初始值与比较值;

(5) 使能定时器 0:使能定时器后,定时器 0 的比较值将会减 1 计数,当初始值与比较值相等时,定时器 0 的引脚输出取反。

3.3 光电编码器驱动设计

由光电编码器原理可知被测对象的角速度 ω 为:

$$\omega = \frac{n}{N} \times \frac{360^\circ}{\Delta T} \tag{5}$$

式中: n —单位时间内的的脉冲数, N —被测对象旋转一周光电编码器发出的脉冲数^[12]。

本研究根据编码器原理对驱动程序进行设计,主要由 S3C2440 通过外部中断 0 对光电编码发出的脉冲数进行计数,然后统计单位时间的脉冲数,得到步进电机的实际转速^[13]。

3.4 Qt 界面设计

模拟泄漏系统的人机交互界面主要是由速度设定、方式选择和校验 3 部分组成。设定部分针对模拟泄漏系统预先设定步进电机转速及相对应的模拟泄漏率;控制部分针对步进电机的旋转方向以及电机的开始和停转;校验部分是针对步进电机可能出现的丢步现象而引入的光电编码器速度校验模块,其数据为步进电机实际转动速度以及模拟泄漏系统的实际模拟泄漏率。人机交互界面如图 7 所示。



图 7 模拟泄漏系统人机界面

4 实验与分析

实验中设定光电编码器采样频率为 1 Hz,在 60 s 内对分别取“从电机最小理论转速 1.09 r/min 到电机最大理论转速的 59.335 r/min 之间”的 6 个电机速度进行采样,算出 60 s 的实际平均转速。步进电机转速参数如表 1 所示。

从表 1 中的采样结果可知,步进电机的理论转速与实测转速存在误差,这是由于步进电机存在丢步现

表 1 步进电机转速参数表

理论转速 /(ml · min ⁻¹)	实际平均 /(ml · min ⁻¹)	累计误差 /(r · min ⁻¹)	相对误差/%
59.335	59.251	-0.081	0.139
20.205	20.184	-0.021	0.104
8.082	8.113	0.031	0.384
4.041	4.002	-0.039	0.971
3.081	3.051	-0.03	0.983
1.09	1.079	-0.011	0.99

象引起的。当步进电机转速较小时,电机丢步现象对理论模拟泄漏率与实测模拟泄漏率间的相对误差影响较大,其中最大误差为 0.99% 但均不超过 1%;从表 1 可得步进电机的实际的最小与最大转速,由此可求出实际模拟泄漏的范围为 0.235 ml/min ~ 11.904 ml/min。实验结果表明,模拟泄漏系统自身误差小,精度高,达到了设计要求。

5 结束语

本研究基于模拟泄漏量与步进电机转速间的关系,设计了一套模拟泄漏系统。通过步进电机带动气缸运动使被测容器产生容积变化实现了模拟泄漏。笔者利用光电编码器对步进电机的转速进行检测得到了实际的模拟泄漏量,同时将 S3C2440 作为主控制器为扩展功能和进行二次开发提供了便利,使用 Qt 编写了界面实现了良好的人际交互。实验结果表明模拟泄漏系统自身误差小,精度高,可以为测量气体泄漏检测设备的检测精度提供可靠的依据。该系统已在实验室使用。

同时,笔者还发现步进电机存在的丢步现象会对该系统的精度造成影响。在今后的研究改进中,将伺服电机替换步进电机并采用闭环的控制策略将会使模拟泄漏系统达到更高的精度。

参考文献 (References) :

[1] 纪春华,彭光正,葛楠. 流量式泄漏检测仪的设计与实验研究[J]. 液压与气动,2009,32(9):73-76.

[2] MARTIN D B, CARLOS M. Leak detection in a pipeline using modified line volume balance and sequential probability tests[J]. **Pressure Vessel Technology**. 2009,14(7):171-175.

[3] 林引. 密闭容器气密性检测方法的仿真研究及其应用[D]. 重庆:重庆大学机械工程学院,2007.

[4] 路波,石岩,郑智剑. 气缸气密性检测系统的设计和实验验证[J]. 液压气动与密封,2014,34(7):52-55.

[5] 熊四昌,陈沙,黄林. 基于模糊 PID 控制的气体泄漏检测系统的容积补偿[J]. 机电工程,2012,29(12):38-

42.

[6] 包超英,孟祥铠,李纪云,等. 基于渗流原理的液体润滑机械密封的泄漏研究[J]. 流体机械,2014,42(1):24-28.

[7] 柏受军,王 鸣,郎 朗. LVDT 位移传感器电压电流转换电路的设计[J]. 传感器与微系统,2012,31(4):113-116.

[8] WCNG J Y,TSE C W. Recalibration technique for NDIR gas sensors without the need for gas standards[J]. **Pressure Vessel Technology**. 2009,14(7): 171-175.

[9] 徐红伟,胥 芳,张 任. 步进电机速度饱和和非线性特性分析[J]. 中国机械工程,2011,22(24):2958-2961.

[10] 赵 燕,陈秋霞,文 凯. 枕式包装机控制系统设计[J]. 包装与食品机械,2015,33(2):42-45.

[11] 朱耀麟,沈昕宇. 基于 ARM9 和 QT 的步进电机驱动控制系统设计与实例[J]. 电子设计工程,2014,22(21):149-152.

[12] 冯英翹,万秋华. 小型光电编码器细分误差校正方法[J]. 仪器仪表学报,2013,34(6):1374-1378.

[13] 李 斌,田 莺,刘红旗,等. 数控机床误差快速检测与精度标定[J]. 机床与液压,2011,39(17):18-21.

[编辑:李 辉]

本文引用格式:

熊四昌,唐浩然,高玉科. 基于容积变化的模拟泄漏系统设计[J]. 机电工程,2016,33(4):421-425.

XIONG Si-chang, TANG Hao-ran, GAO Yu-ke. Design of simulation leak system based on volume change[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2016,33(4):421-425.

《机电工程》杂志;<http://www.meem.com.cn>

(上接第 420 页)

5 结束语

点云拾取是交互式操作的基础,是点云数据处理的前提和基础,研究大量点云的快速拾取技术对推进逆向工程 CAD 建模技术的应用与发展具有重要意义。笔者在研究三维图形拾取基本方法的基础上,分析了点云拾取流程及关键问题,针对逆向工程中大量点云数据处理,提出基于自适应八叉树的大量三维点云快速拾取算法。引入八叉树,并根据点云分布密度情况对整体点云进行自适应划分,从而节省内存和提高划分速度。进行拾取运算时,先将八叉树节点的立方体投影到屏幕上生成投影多边形;然后投影多边形与由拾取多边形建立的矩形包围盒,进行相交检测,剔除没有交集的八叉树节点所属的点云,使点云的拾取判断范围缩小,提升了拾取效率。实验结果显示,算法具有较高的拾取速度和良好的拾取效果。

参考文献(References):

[1] 刘 锋,黄 勇. 基于逆向工程的空调遥控器三维模型设

计研究[J]. 机电工程. 2014,31(10):1270-1273.

[2] 王 剑,陆国栋,谭建荣. 三维场景中图形对象的拾取方法[J]. 机械,2004,31(7):29-32.

[3] 徐胜攀,刘正军,左志权. 大规模三维点云快速拾取技术研究[J]. 计算机工程与设计. 2013,34(8):2764-2768.

[4] 姚继权,李晓豁. 计算机图形学人机交互中三维拾取方法的研究[J]. 工程设计学报,2006,13(2):116-120.

[5] 朱明亮,董 冰,王 玮,等. 三维场景中基于视口空间的拾取算法[J]. 工程图学学报,2008,29(2):94-97.

[6] 张嘉华,梁 成,李桂清. GPU 三维图元拾取[J]. 工程图学学报. 2009,30(1):46-52.

[7] 付昕乐,王晏民,黄 明. 基于 GPU 的点云拾取[J]. 测绘通报. 2013,51(S1):54-57.

[8] 夏仁波,刘伟军,王越超. 点在平面多边形内外的判断方法[J]. 机械工程学报. 2006,42(3):130-135.

[9] 陈义仁. 逆向工程中散乱点云预处理相关算法研究[D]. 合肥:中国科学技术大学信息科学技术学院,2011.

[10] 刘晓东,刘国荣,王 颖,等. 散乱数据点的 k 近邻快速搜索算法[J]. 微电子学与计算机,2007,24(12):23-26.

[编辑:李 辉]