

容栅式 SMT 钢网表面张力在线检测系统设计

吴文娟¹, 李致金²

(1. 南京林业大学 理学院, 南京 210037; 2. 南京信息工程大学 人工智能学院, 南京 210044)

摘要: SMT 贴片印刷中, 钢网的平整度是影响贴片印刷质量的重要因素; 钢网平整度是通过测量钢网四角和中间位置的表面张力确定, 表面张力测量计分为指针式和数字式, 目前尚无 SMT 钢网张力在线测量系统; 设计一款基于容栅式位移传感器的表面张力检测系统, 对于提高贴片印刷的质量, 具有实际应用意义, 容栅式位移传感器设计为定尺和动尺; 表面张力引起动尺的微小位移, 在定尺形成与位移关联的电容变化; GC7626 控制器将定尺电容变化转成数字信号, 精度为 1 N/cm; 采用 STM32F103C8T6 微控制器为主控系统, STM32F103C8T6 读取 GC7626 的张力数据, 以及存储有钢网信息的 RFID 数据, 并将数据通过蓝牙模块传输给上位机 (手机); 上位机 (手机) 上设计有 APP 软件, 对张力数据进行处理; 系统已经成功应用于工业生产, 实现了钢网张力的在线检测和智能化管理。

关键词: 容栅位移传感器; GC7626; 表面张力; APP; 蓝牙

Design of SMT Steel Mesh Surface Tension On-line Detection System by Capacitance Sensor

Wu Wenjuan¹, Li Zhijin²

(1. College of Science, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;

2. Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: In SMT printing, the flatness of steel mesh is an important factor that affects the quality of SMT printing. The flatness of steel mesh is determined by measuring the surface tension of the four corners and the middle positions of the steel mesh. There are two kinds of surface tension measuring instruments: pointer type and digital type. At present, there is no on-line measuring system for tension of SMT steel mesh. The design of surface tension measuring system based on capacitance displacement sensor is of practical significance for improving the quality of SMT printing. The capacitance sensor is composed of static ruler and moving ruler. The tiny displacement of moving ruler caused by surface tension changing causes the capacitance changing between static ruler and moving ruler. The MCU (GC7626) changes the capacitance signal to digital signal, the accuracy is up to 1 N/cm. In this paper, the STM32F103C8T6 is used as master controller, the STM32F103C8T6 system reads the tension data from GC7626, and stores the information in RFID of SMT steel mesh. The STM32F103C8T6 system transmits the tension data and the information data of the steel mesh to the mobile phone (or PC) by the Bluetooth. APP is designed in the mobile phone (or PC) to process the tension data and realize the online detection of the tension of the steel grid. This system solves the core problem of intelligent management of steel grid production. The system has been successfully applied in industrial production to realize the on-line detection and intelligent management of the surface of the steel mesh.

Keywords: capacitance sensor; GC7626; steel mesh surface tension; APP; bluetooth

0 引言

钢网又称 SMT 网板、SMT 钢网。它是用来定量分配锡膏或贴片胶的, 是保证印刷锡膏或贴片红胶质量的关键工装^[1]。SMT 钢网表面张力大小直接影响生产印刷状态, 新导入的钢网及日常使用中的钢网均需对其进行张力测试、评估、以防止张力不足或过大影响印刷状态。目前工业上钢网张力检测, 一般采用指针式或数字式的张力计, 测量钢网四角和中心位置的张力, 然后根据测量的张力大小调整钢网的扩张和绷紧装置, 使得钢网保持正确的张力。这

种检测方法是分手动式的, 效率很低。重要的是不能对钢网使用中的张力进行在线检测, 不能实现钢网使用中的智能化管理。因此本钢网表面张力在线检测系统具有首创意义。

1 系统设计

本系统实现钢网表面张力在线检测和数据智能化管理。实际使用中, 将每块钢网上贴上含有钢网相关信息的 RFID 标签, RFID 阅读器阅读到钢网的标签信息, 并将读取的信息传输至 STM32F103C8T 主控系统。数字式张力计依次放置钢网 4 个角落以及中间位置, 检测放置位置的张力数据。主控系统采集到的钢网信息和张力数据通过蓝牙模块发送手机或上位机中, 手机 APP 或上位机管理系统处理接收的各点张力数据, 实现钢网信息以及张力数据的智能化

收稿日期: 2019-11-11; 修回日期: 2020-01-08。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41575155 面上项目)。

作者简介: 吴文娟(1978-), 女, 山东济宁人, 博士, 讲师, 主要从事信号处理及高温超导体的输运性质方向的研究。

管理。本系统设计包括：1) 容栅式数字张力计；2) RFID 标签阅读系统；3) 系统主控系统；4) 蓝牙传输系统；5) 锂电池充电管理系统等电路。系统框图如图 1 所示。

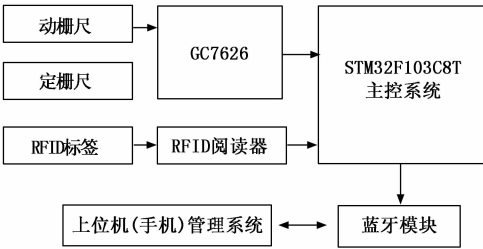


图 1 系统设计框图

1.1 容栅式数字张力计

实现钢网表面张力在线检测和智能化管理，传统的指针式张力计无法做到，需设计数字式张力计。容栅位移传感器具有可靠、功耗低、体积小、重量轻、频响速度快、安装方便等优点^[2]。本系统采用 GC7626 集成芯片作为容栅式数字式张力计数据采集芯片，实现性价比高的便携式数字式张力检测系统^[3-4]。GC7626 在模拟部分电路和数字运算处理部分做了很多改进，具有四舍五入取舍功能以消除 5 μm 显示误差。与此同时，可实现低至 20 μA 的低功耗。通过芯片外部的选择端来决定选用晶体振荡器还是 RC 振荡器，降低芯片应用成本。为了适应测量工具不同供电条件和功耗管理的需求，GC7626 芯片提供多种用户可选的手动和自动的断电方式。GC7626 采用高等级的工艺平台和先进的电路设计，芯片工作主频可提高到 280 kHz，可以满足测量应用中快速响应的要求。芯片内部集成的电路功能非常丰富，可提供多达 52 段 LCD 显示符号，测量显示范围可达六位半，测量精度可达 0.01 mm。同时备有串行接口输出端，单片即可满足各种精密测量工具的需求。

1.1.1 容栅式传感器的基本原理

容栅位移传感器是根据在间隙 d 和介电常数 ϵ 一定的条件下，电容的变化量 Δc 与耦合面积 Δs 变化量成正比，即 $\Delta c = \frac{\epsilon \Delta s}{d}$ 而设计的非接触式位移测量尺。容栅尺设计分为动尺和定尺（如图 2）两部分。动尺（如图 2（a）所示）由公共接收极 R 和发射极构成，在发射极上设计有宽度为 $L_0 = 0.635 \text{ mm}$ 发射栅格，一组 8 个，设计组数视测量的长度而定。定尺上设计有反射极，且每个电极宽度为 $w = 5.08 \text{ mm}$ 。动尺正对定尺安装^[5]，安装间隙约 2 mm。发射极一组的 8 个栅格上加载幅值相同相位差为 45 度的周期信号 $V_1 \sim V_8$ ，通过动尺和定尺间的间隙电容耦合在定尺反射极上产生感应电压 V_k ，再通过间隙电容耦合在公共接收极 R 上产生感应电压 V_R ^[6-7]。有位移时， Δs 变化引起 Δc 变化， Δc 变化引起 V_R 变化，系统根据 V_R 变化量反演出 Δs 变化量。

1.1.2 GC7626 数据采集系统

本系统设计 GC7626 为直线尺测量模式。设计原理如图 3 所示。

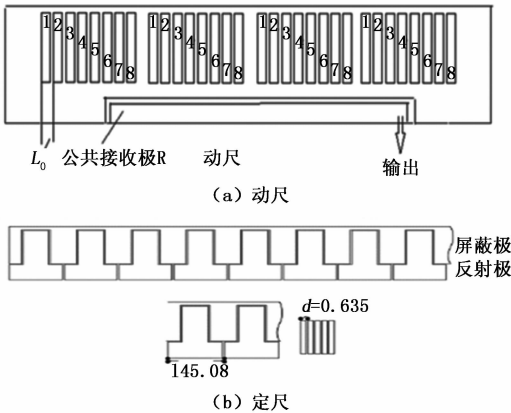


图 2 反射式容栅结构示意图

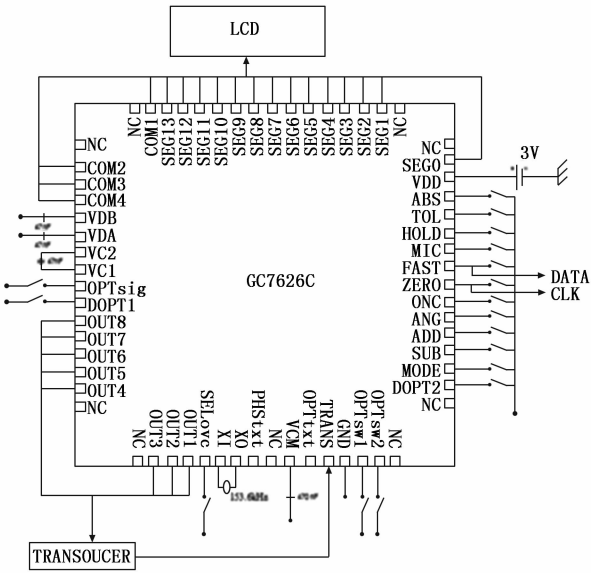


图 3 GC7626 控制原理图

OUT1~OUT8 为系统输出接动尺发射极的 1~8 电极，COM1~4 接液晶公共端，SEG0—SEG13 接入液晶的段位脚。GC7626 通过电容传感器来测量长度和角度（本设计设置为长度测量）。驱动器通过 OUT1~OUT8 终端传输调制信号到电容传感器的锁存电路，并从 TRANS 终端接收反馈信号。通过转换相位差信号成长度（角度）数据，来显示测量结果。测量精度可通过分辨率开关确定，设置值如表 1 所示。

表 1 GC7276 分辨率选择定义

DOPT1	DOPT2	分辨率	显示比例
1	1	0.01 mm/0.000 5 in	1
1	0	0.01 mm/0.000 5 in	1/2
0	1	0.001 mm/0.000 05 in	1/4
0	0	0.001 mm/0.000 0 5 in	2

TRANS 为反射电压信号接收端 TRANSUCER，ZERO 为复用数据时钟端（CLK），FAST 为复用数据端

(DATA)。需传输数据时, 按下 FAST 键, FAST 键低电平触发数据传输模式, 任意位置按下 FAST, 输出数据组在慢速和快速之间转换, 慢速每秒钟传输 5 组数据, 快速每秒钟传输 37 组数据。输出数据组传输结束后, 系统进入等待传输状态, 直至下次 FAST 键按下。TRANS 接定尺的输入信号。

GC7626 采用 ZERO、FAST 这两个管脚做功能复用改成了串行输出测量数据信号。其中 ZERO 做串行同步信号, FAST 输出测量数据信号。同步信号与数据信号波形如图 4 所示。

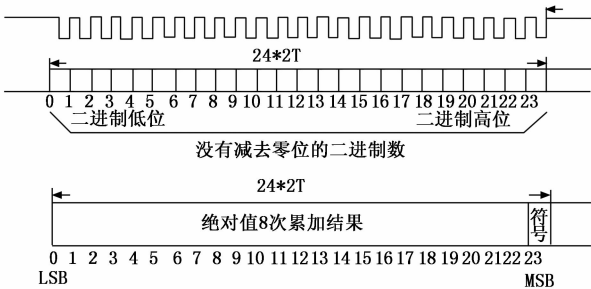


图 4 GC7626C 串口同步时钟和数据信号波形图

1.1.3 主控系统

本系统以 STM32F103C8T6 为主控芯片, 设计有: 1) 锂电池充电电路; 2) 与张力计通信接口电路; 3) 锂电池电量检测电路; 4) 蓝牙传输接口电路, 设计电路图如图 5 所示。张力传感器检测到的张力数据通过 ZERO (CLK) 和 FAST (DATA) 接入数据传输系统, FAST、DATA) 为 OC 输出方式, 因此本系统接口部分设计上拉电阻, 如图 5 所示。

锂电池充电电路采用 FS4056 电池充电管理芯片进行设计, FS4056 是一款高效的单节锂电池充电管理芯片, 采用

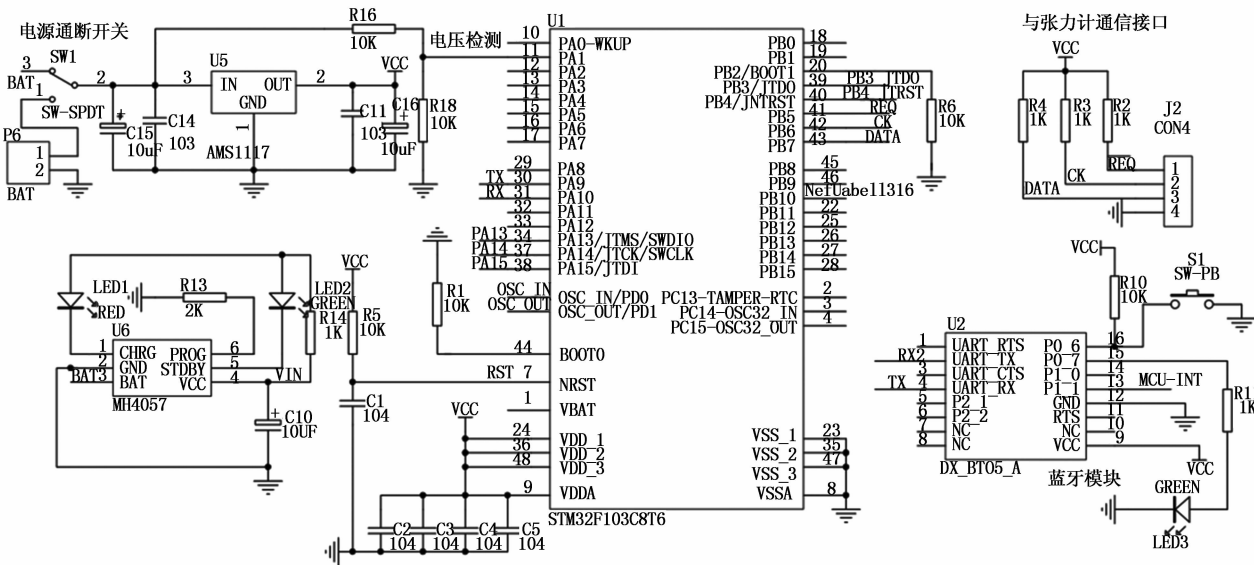
恒定电流/恒定电压线性充电器。锂电池最高可充到 4.2 V, 系统电压是 3.3 V。为此, 检测电池电压时, 电池电压经电阻 R16、R18 分压后才可与 STM32F103C8T6 的 PA1 引脚连接进入 AD 转换。本系统与手机 APP 采用蓝牙通信, 蓝牙模块选用 DX_BT05-A 模块, 该蓝牙模块采用美国 TI 公司 CC2541 芯片, 配置 256 Kb 存储空间, 遵循 V4.0 BLE 蓝牙规范。支持 AT 指令, 用户可根据需要更改串口波特率、设备名称、配对密码等参数。该模块支持 UART 接口, 并支持 SPP 蓝牙串口协议, 只需配备少许的外围元件就能实现其强大功能。

2 RFID 读写系统

每块 SMT 钢网贴有一块含有该钢网信息的 RFID 标签。RFID 读写系统采用 13.56 MHz 高频电子标签读写系统对数据进行读写操作, 射频输出功率 1 W, 有效距离 0.5 mm 左右。本系统 RFID 阅读器采用先进的标签防碰撞算法, 识别率高, 速度快, 每秒钟可读取 80 个标签。RFID 读写系统设计有一个串口, 支持 RS232 或 RS485 串行通信协议。每张钢网贴上标签, 标签中写入钢网的相应信息。使用中, 阅读器读取标签中钢网的相关信息, 通过串口传输至本系统的主控系统中, 主控系统将相关数据打包后通过蓝牙发送至手机 APP (或上位机软件系统) 中。

3 软件系统

本系统软件包括: 1) 张力数据读取程序; 2) RFID 阅读器数据读取程序; 3) 蓝牙通信程序; 4) 锂电池电量数据采集程序; 5) 手机 APP 程序; 6) 上位机管理程序。1) ~4) 程序为 STM32F103C8T6 主控芯片中程序, 用 C 语言在 KEIL C 环境下编程。手机 APP 在安卓系统手机中利用 JAVA 语言编制。



3.1 张力数据读取程序

GC7626 输出的 DATA 数据分为两段,前半段数据是绝对位移量、后半段数据是相对位移量。绝对位移量表示从绝对零点到测试位置的绝对距离,相对位移量表示从相对零点到测试位置的距离,绝对零点是固定不变的,是上电后系统认定的点为零点;相对零点是灵活变化的,相对零点是从按键 ZERO 按下时的点为零点。数据前后两段数据的读取间隔是 $17T$ ($T=6.5\mu\text{s}$),在每次时钟下降沿到来时进行一次数据读取,其中需要采集的是后半段 24 位数据^[8]。每个数据的宽度是 $2T$,24 位数据采用二进制编码方式,低位在前、高位在后,最后位代表实际符号位(0 代表正号、1 代表负号)^[9]。当读取到的相对位移量的符号位为 1 (负号) 时,需要先将读取到的相对位移值进行翻转处理之后再计算。

主控芯片 STM32F103C8T6 自动读取 GC7626 测量的张力数据。STM32F103C8T6 先将 DATA (PB7) 设置为输出模式,给出脉冲低电平(模拟按键按下),然后将 DATA (PB7) 设置为输入模式接收数据,从而实现数据的自动读取。数据读取按 24 位打包,然后按图 4 的数据格式解包。

3.2 锂电池电量数据采集程序

STM32F103C8T6 提供 3 个 12 bit 位 AD 转换器,此锂电池电量数据采集时选用的是 ADC1 转换器。锂电池电量数据采集程序分为 ADC1 驱动和电量采集驱动两部分。在 ADC1 驱动中又分为读取 ADC1 通道采集的电量数值和 ADC1 的初始化。根据求平均值的次数对读取的 ADC1 通道采集数值进行累加并对其求多次平均值作为 ADC1 通道读取的电量数值。电量采集程序部分先依据采集次数进行累加 ADC1 通道读取的电量数值,再由每次采集次数求出电量平均值。

3.3 主控系统软件

主控系统将读取的钢网标签数据、张力计测量数据及电池电量数据按自定的通信协议,将数据通过蓝牙发送至手机或上位机中。系统依次测量钢网左上、右上、左下、右下、中间 5 个位置的张力数据。张力数据测量时,拿起张力计时,由于数据变化较大,主控系统自动进入数据待传输状态,放下张力计后,数据系统自动进入通信程序,其流程如图 6~7 所示。

4 手机 APP 系统

蓝牙作为一种短距离的无线通讯技术已经在电子设备中得到广泛应用,其能够将不同设备连接起来,克服了有线传输线的限制^[10]。本系统基于 Android 系统手机开发了一套钢网表面张力管理 APP。APP 系统主要包括:1) 与数字张力计蓝牙模块数据通信部分;2) 钢网表面 RFID 标签识别,识别码通过蓝牙发送至手机 APP 中;3) 钢网管理信息库。手机 APP 系统首先接收蓝牙传过来的钢网的 RFID 识别码,并以该 RFID 识别码建立相应钢网信息

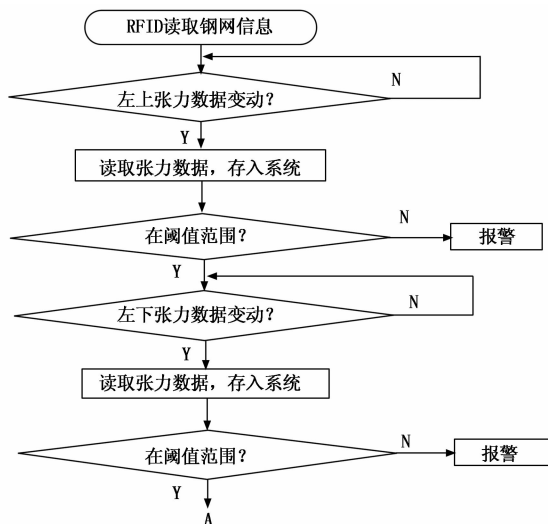


图 6 主控系统软件流程图

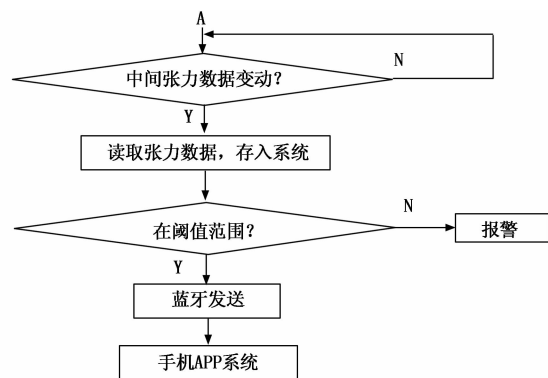


图 7 主控系统软件流程图

库^[11]。手机 APP 实时接收张力计检测的钢网表面张力值,将该值实时存入对应 RFID 识别码编码的钢网信息库中,通过将该数值与预先设定的标准张力阈值进行比对,判断该点张力数据是否标准。如不在标准范围内,则在界面上输出相应的报警信息。当钢网张力数据标准时,系统将数字存入系统的数据库中,程序流程如图 6~7 所示。

为了实现钢网管理系统的智能化,系统在 APP 界面中设计了操作员二维码或条形码工号阅读功能。实际工作时,操作员先用手机扫描自己工号二维码或条码,只有有权限的操作元才能操作在线检测系统,从而真正实现钢网生产管理的智能化。钢网管理 APP 管理主界面如图 8 所示。

5 实验结果与分析

本系统为 PCB 印刷中 SMT 钢网表面张力智能测试系统。实际应用中。操作人员手机上安装自主研发的配套的 APP,操作员打开 APP 操作系统后,用摄像头先扫描自己的二维码或条码工号,输入相应口令后进入手机操作系统。为了防止张力计本身误差引起的钢网张力测量不准,本系统进行张力测量时需操作员输入测试张力计编号,以便张

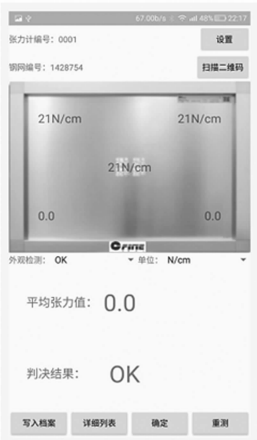


图 8 手机 APP 管理界面

力测量问题追溯。完成以上操作后，操作员将 SMT 钢网搬至 RFID 阅读器的阅读范围内，阅读器读取钢网编号，并显示在屏幕上。钢网张力测量时，一般需测量 5 个值，即 4 个角落张力以及中间部位张力，如图 8 所示。采用本系统测量的张力数据与品牌 STG—80NA 张力计测量张力数据如表 2 所示。

表 2 张力测量对照表

	1	2	3	4	5	6
自制	0.12	0.12	0.11	0.12	0.13	0.12
STG—80NA	0.12	0.12	0.12	0.11	0.12	0.12

由表 2 可看出，测量同一点表面张力时，本系统研制的张力测量系统达到测量精度的要求，完全可用于 SMT 钢网表面的张力测量。

6 结束语

本文设计一套自动数字式钢网表面张力在线检测系统。系统设计容栅式数字张力计、张力计数据传输系统、钢网标签阅读系统、表面张力在线检测软件系统、手机 APP 系统等组成部分。通过容栅式数字张力计、钢网标签信息、手

机 APP 系统三者协同工作，解决了工业生产印刷时钢网表面张力无法实时检测的难题，解决了钢网生产时智能化管理的核心问题。本系统在实际钢网生产中已通过计量认证并投入使用，提高了工厂生产效率和自动化水平，为协作单位带来了可观的经济效益。

参考文献：

[1] 程赞华, 许卫锋, 孟 凯. 浅析 SMT 焊接质量的主要影响因素和改善措施 [J]. 电子世界, 2016 (14): 81-82.

[2] 张银芳. 容栅位移传感器的工作原理及其特点 [J]. 航空精密制造技术, 2005 (4): 58-59.

[3] 杨雪芳, 蔡 萍, 王卫钢, 等. 全数字式容栅位移传感器 [J]. 仪表技术与传感器, 2005 (7): 5-6.

[4] 郭华华. 鉴相型容栅传感器机理与测量系统构建 [J]. 电子测试, 2016 (18): 62, 53.

[5] 王 孝, 王玉花, 谢 行. 绝对式容栅测量技术浅析 [J]. 传感器世界, 2016, 22 (4): 25-28.

[6] 李佳妮, 王云峰. 一种表面肌电信号的无线采集方式 [J]. 电子技术应用, 2017, 43 (1): 118-120.

[7] 侯 俊, 周欢喜, 肖仲平, 等. 容栅式旋转编码器的设计及应用 [J]. 湖南工业大学学报, 2015, 29 (5): 45-50.

[8] Zhou Y G, Wang S H, Yu G P, et al. Capacitive sensor high-precision measurement system [A]. 2010 The 2nd IEEE International Conference on Information Management and Engineering (ICIME) [C]. 2010.

[9] 顾 鑫, 朱晓锦, 陈 凯. 基于单片机的容栅数显高度尺优化设计 [J]. 仪表技术, 2017 (7): 23-26.

[10] 杨晓昆, 张正平, 张 灿, 等. 基于 SMT32 的新型光耦电机定位技术 [J] 电子技术应用, 2018, 44 (5): 60-62.

[11] 梁应选, 杨明亮. 基于容栅传感器和单片机的检测系统 [J]. 实验室研究与探索, 2013, 32 (6): 25-29.

[12] 周进波, 张 磊, 张 敏, 等. 基于 Android 系统蓝牙开发的研究与实现 [J]. 光学仪器, 2013, 35 (1): 34-36.

[13] 叶伟玲, 何兴华, 王硕君, 等. 基于 RFID 和手机 APP 的测试工具管理系统 [J]. 通信电源技术, 2017, 34 (2): 127-128.

(上接第 26 页)

参考文献：

[1] 邵湘麒. 浅析电子舱通风的故障处理及日常维护 [J]. 中国新技术新产品, 2015, 27 (20): 93-93.

[2] 王霞霞, 陈超波, 高 嵩. 逆变器开关管故障诊断方法综述 [J]. 计算机测量与控制, 2019, 27 (8): 1-6.

[3] 潘亚东, 陈 硕, 张 迪. 基于案例推理的飞机排故训练系统 [J]. 中国民航大学学报, 2012, 30 (3): 42-46.

[4] 李小青. 基于案例推理的故障诊断方法 [J]. 计算机测量与控制, 2007 (9): 22-23, 29.

[5] 景运革. 基于知识粒度的动态属性约简算法研究 [D]. 成都：

西南交通大学, 2017.

[6] 刘文军, 赵利萍. 粗糙集的相似度量 [J]. 数学理论与应用, 2012 (3): 35-42.

[7] 林 娟. 粗糙集的相似度量和属性约简 [D]. 石家庄: 河北师范大学, 2015.

[8] Chodorow K. Mongo D B. The definitive guide [M]. 南京: 东南大学出版社, 2014.

[9] 周艳平, 李金鹏, 蔡 素. 基于同义词词林的句子语义相似度方法及其在问答系统中的应用 [J]. 计算机应用与软件, 2019 (8): 65-68.

[10] 刘 燊. 面向《大词林》的中文实体关系挖掘 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.