

机械与过程控制

印刷纸带纠偏装置研究与系统开发

邓瑞, 侯和平, 徐卓飞, 赵庆海

(西安理工大学 印刷包装与数字媒体学院, 西安 710048)

摘要: **目的** 为了保证印刷品的套印精度及整个印刷过程的顺利进行, 对卷筒纸印刷机印刷过程中的纸带跑偏问题进行研究。**方法** 通过对纸带传输系统的运动学模型进行分析, 提出一种基于超声波传感器的印刷纸带纠偏控制方法, 并依据该方法开发出一种印刷纸带纠偏装置。该装置采用 STC12C5A60S2 芯片作为控制核心, 以超声波传感器作为检测装置, 利用步进电机、滚珠丝杠实现纠偏过程, 并结合硬件设计进行系统软件的开发。**结果** 针对不同类型印刷带材、不同印刷速度下的纠偏效果进行了检验, 纠偏后套印误差均小于 0.2 mm, 并通过实验证明了装置的有效性。**结论** 该装置适用于各种印刷材料的检测, 不受环境因素干扰, 同时具有响应速度快、纠偏精度高的特点, 对于提升印品质量具有十分重要的意义。

关键词: 超声波传感器; 纠偏控制; 印刷纸带; 自动控制

中图分类号: TS803.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)13-0138-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.13.023

Research on the Guiding Control Device of Printing Paper Tape and System Development

DENG Rui, HOU He-ping, XU Zhuo-fei, ZHAO Qing-hai

(Faculty of Printing Packaging Engineering and Digital Media Technology, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

ABSTRACT: The work aims to study the problem of paper tape running deviation in the printing process of web press, so as to ensure the register accuracy of printings and the smoothness of the whole printing process. An approach of guiding control of printing paper tape was presented based on the ultrasonic sensor through the analysis on kinematics model of paper tape transport system. A guiding control device of printing paper tape was developed based on the proposed approach. The device adopted STC12C5A60S2 as a processor and ultrasonic sensor as a detector. Step motor and ball screw were used to realize the guiding control process, and the system software was developed combined with hardware design. The guiding control effect of different types of printing strips and different printing speeds was tested, the register error after guiding was less than 0.2 mm, and the effectiveness of the device was proved by experiments. The device is applicable to the detection of various kinds of printing materials and is not affected by the environment. It has fast response and high accuracy of guiding control, which is of great significance to improve the quality of printings.

KEY WORDS: ultrasonic sensor; guiding control; printing paper tape; automatic control

纸带在印刷过程中由于所受张力、形状、执行机构等因素的作用, 经常偏离原来的基准线, 从而造成印刷图文在多色套印时出现偏差, 难以满足印刷工艺

的要求。特别是柔性印刷电子产品的套印精度达到 50 μm , 这种情况下保证套印准确显得尤为重要。纸带的运行速度越快, 跑偏现象就越严重, 若不能对纸带

收稿日期: 2018-01-24

基金项目: 国家自然科学基金 (51305340); 陕西省自然科学基金基础研究计划 (2017JQ5012); 陕西省教育厅科学研究计划自然专项项目 (17JK0545)

作者简介: 邓瑞 (1993—), 男, 西安理工大学硕士生, 主攻印刷机系统控制及故障诊断。

通信作者: 侯和平 (1978—), 男, 博士, 西安理工大学副教授, 主要研究方向为印刷包装设备的状态监测与故障智能诊断。

跑偏现象进行及时纠正,就会严重影响产品的质量,甚至产生大量废品,造成材料的浪费^[1]。纸带跑偏是多种因素共同作用的结果,而通过印刷机本身来保证纸带的正确运行是很难满足要求的,一般通过外加纠偏装置来对纸带的运行过程加以实时监测和控制。

目前,国内外对于带材跑偏的研究都取得了一定的成果。国外的日本三桥、意大利 RE、德国 E+L 等公司设计的纠偏产品性能优良且稳定性好,得到了广泛的应用,但价格十分昂贵^[2-3]。我国陈德传等^[4]设计的用于塑料薄膜复卷机的纠偏控制系统虽然纠偏速度满足要求,但其纠偏精度太低。栗建新等^[5]设计的一种采用步进电机的纠偏控制系统可用于胶纸带的纠偏控制,但该系统为开环控制系统,难以做到实时反馈纠偏。赵美宁等^[6]设计的自动纠偏装置能够实现无菌奶袋软包装机中包装薄膜的自动纠偏,需要 2 个光电传感器实现,但其检测精度较低。

为了解决上述不足,文中通过对纸带传输系统的运动学模型进行分析,构建纸带运动的动力学方程,提出一种基于超声波传感器的印刷纸带纠偏控制方法,以超声波传感器为检测装置,单片机为控制核心,步进电机作为执行机构,设计一种新型纸带纠偏控制装置,对保证印刷过程正常进行及多色精确套印具有十分重要的实际意义。

1 纸带运动的动力学模型

图 1 中 θ_r 为辊筒偏转角度, θ_L 为纸带偏移角度, L 为 2 个辊筒间纸带长度, L_1 为辊筒偏转中心距离, Z 为辊筒横向偏移距离, y_L 为纸带横向偏移距离。纸带在高速印刷过程中易受到外界力干扰而产生横向偏移,通常印刷速度越快,纸带的横向移动速度也越快。为分析影响纸带横向运动的关键因素及进行有效的纠偏控制,需要建立纸带横向动力学模型,利用纸带横向运动方程可以建立传感器检测跑偏量与执行器纠偏量之间准确的数学关系,通过纸带跑偏量可以直接获得电机的工作参数,纸带的纠偏精度与速度都明显提高。

文中建立模型时采取的假设包括:忽略纸带的质量;纸带是理想弹性体,材料密度和弹性模量均匀;纸带与辊子接触面无相对滑动;纸带张力保持不变;忽略纸带与偏转辊筒间的剪切力。

忽略单跨度纸带的切变强度,假设纸带为理想纸带不发生弯曲,则纸带相对于辊筒的横向偏移量为 $\Delta y = (\theta_L - \theta_r) L$;纸带相对于辊筒的横向速度为 $V_L = V (\theta_L - \theta_r)$ 。纸带横向偏移速度由纸带相对于辊筒横向偏移速度和辊筒相对于地面横向速度 2 部分组成,则纸带的横向偏移速度为:

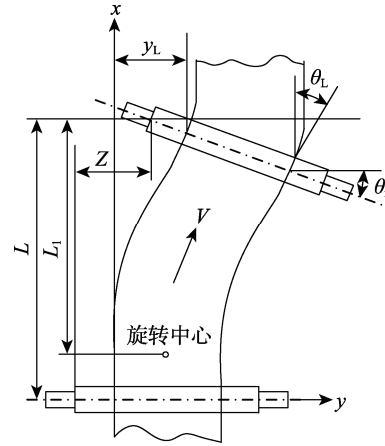


图 1 纸带运动学模型

Fig.1 Kinematics model of paper tape

$$\frac{dy_L}{dt} = V (\theta_L - \theta_r) + \frac{dz}{dt} \quad (1)$$

纸带相对于辊筒的角度 $(\theta_L - \theta_r) = \frac{y_L}{L} - \frac{z}{L_1}$, 进行

拉普拉斯变换可得纠偏系统的传递函数为:

$$\frac{y_L(s)}{z(s)} = \frac{(L/V)s + (L/L_1)}{(L/V)s + 1} \quad (2)$$

假定两端辊筒都固定不动,纸带进入第 1 个辊筒的初始偏移量为 y_0 , 经过第 2 个辊筒的偏移量为 y_L , 则纸带的横向偏移速度为:

$$\frac{dy_L}{dt} = V \frac{y_0 - y_L}{L} + \frac{dz}{dt} \quad (3)$$

当两端辊筒均固定不动时,辊筒的横向偏移速度

$\frac{dz}{dt} = 0$, 利用拉普拉斯变换得:

$$\frac{Y_L(s)}{Y_0(s)} = \frac{V/L}{s + V/L} \quad (4)$$

在实际情况下,纸带经过偏转辊筒发生横向偏移时一般都会发生弯曲,因此可将纸带视为弹性欧拉梁进行分析,根据 J.J.Shelton 和 K.N.Reid 的动力学方程^[7],纸带的运动方程可简化为:

$$\frac{\partial^4 y}{\partial x^4} - K^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0 \quad (5)$$

$$K^2 = \frac{T}{EI} \quad (6)$$

式中: T 为纸带张力; E 为弹性模量; y 为纸带横向偏移量; I 为纸带横向偏移的转动惯量。设解析方程为:

$$y = A_1 \sinh(Kx) + A_2 \cosh(Kx) + A_3 x + A_4 \quad (7)$$

式中: A_1, A_2, A_3, A_4 均为常量,由纸带在前后辊筒处的边界条件决定。假定边界条件:纸带在前端辊筒处的偏移量为 y_0 、纸带与前端辊筒径向夹角为 θ_0 、纸带在纠偏辊筒处的横向偏移量为 y_L 、纸带与纠偏辊筒法向夹角为 θ_L , 即:

$$\begin{cases} y|_{x=0} = y_0, \quad \frac{\partial y}{\partial x}|_{x=0} = \theta_0 \\ y|_{x=L} = y_L, \quad \frac{\partial y}{\partial x}|_{x=L} = \theta_L \end{cases} \quad (8)$$

代入式(7)计算得到解析方程的各项系数:

$$\begin{cases} A_1 = \frac{K \sinh(KL)(y_0 - y_L) + [(KL) \sinh(KL) + 1 - \cosh(KL)] \theta_0}{K [KL \sinh(KL) + 2 - 2 \cosh(KL)]} + \\ \frac{[\cosh(KL) - 1] \theta_L}{K [KL \sinh(KL) + 2 - 2 \cosh(KL)]} \\ A_2 = \frac{K [\cosh(KL) - 1] (y_L - y_0) - [KL \cosh(KL) - \sinh(KL)] \theta_0}{K [KL \sinh(KL) + 2 - 2 \cosh(KL)]} - \\ \frac{[\sinh(KL) - KL] \theta_L}{K [KL \sinh(KL) + 2 - 2 \cosh(KL)]} \\ A_3 = \theta_0 - A_1 K \\ A_4 = y_0 - A_2 \end{cases} \quad (9)$$

将式(9)得到的 A_1, A_2, A_3, A_4 代入式(7)后, 分别求一阶、二阶导数得到纸带横向偏移的速度及加速度分别为:

$$\frac{dy_L}{dt} = V \left(\theta_r - \frac{\partial y}{\partial x} \Big|_L \right) + \frac{dz}{dt} \quad (10)$$

$$\frac{d^2 y_L}{dt^2} = V^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \Big|_L + \frac{d^2 z}{dt^2} \quad (11)$$

2 纠偏控制系统的硬件组成

纸带纠偏控制系统由4部分组成: 检测装置、中心控制器、执行机构、反馈装置, 从而构成一个闭环控制系统。系统整体方案框架见图2。

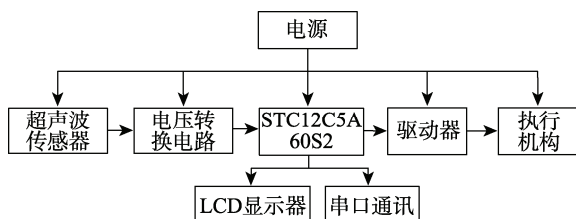


图2 系统框架

Fig.2 The system framework

2.1 超声波传感器

在纠偏控制系统中传感器用来检测纸带的位置, 其检测精度直接影响系统的纠偏性能。超声波传感器由控制板、超声波发射探头、接收探头以及电源部分组成。通过超声波发射探头发射超声波, 超声波在空气中传播碰到纸带后就会反射回来, 但当纸带出现偏移时, 超声波则会被接收探头接收, 根据传感器输出电压大小可以确定纸带的横向偏移量^[8-9]。该装置采用 AE-210 超声波传感器, 其主要性能指标如下所述。

1) 采用高速 DSP 芯片, 全数字处理, 真正无漂

移, 抗干扰能力强。

2) 采用高精度超声波敏感元件, 分辨率可 0.01 mm。

3) DC12V 单电源供电, 电压模拟量的输出范围在 0 ~ 5 V 之间, 两路开关量。

4) 车间的环境噪音对超声波技术完全没有影响。

5) 可检测任何材料(包括网状材料), 无需进行调整。

超声波传感器工作原理见图3。

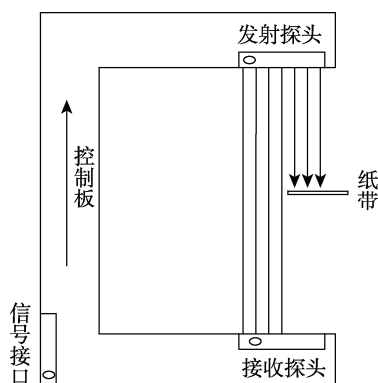


图3 超声波传感器原理

Fig.3 The principle of the ultrasonic sensors

由于超声波传感器在工作过程中受干扰较小, 其输出电压变化与纸带横向偏移量之间呈单值关系:

$$k = \frac{\Delta u}{\Delta y} \quad (12)$$

式中: Δu 为传感器输出电压变化量; Δy 为纸带横向偏移量。

2.2 纠偏控制器

纸带纠偏控制系统的核心采用 STC12C5A60S2 芯片, 它是一种高速、低功耗、超强抗干扰的片上集成 1280 字节 RAM、有 EEPROM 功能的微处理器。STC12C5A60S2 芯片内部具有 MAX810 专用复位电路、4 个 16 位定时器、2 个时钟输出口、1 个全双工异步串行口、7 路外部中断 I/O 口。STC12C5A60S2 芯片还具有 8 路 10 位精度的 ADC, 转换速度高达 250 kb/s^[10]。STC12C5A60S2 单片机系统及接口见图4。

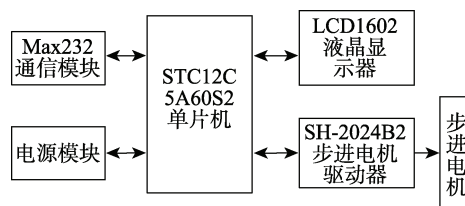


图4 单片机硬件电路

Fig.4 The hardware circuit for single chip system

LCD1602 液晶器显示的是经过 A/D 转换后的传感器输出电压值^[11]。电源模块设计了 3 个等级的直流电源：5, 12, 24 V，分别对超声波传感器、控制器、步进电机驱动器供电。Max232 通信模块通过串口芯片将控制器的信号接收端和发送端连接到计算机端口上，实现计算机与控制器之间的通讯，可将控制器发送的数据传送给计算机，从而实现控制器与上位机的双向通讯^[12]。

2.3 纠偏执行机构

纠偏执行机构是保证纠偏系统精度高低的重要因素之一，因此纠偏执行机构的选择至关重要。该装置的纠偏执行机构由步进电机和滚珠丝杠 2 部分组成，不仅结构简单而且可靠性高。同时为了消除步进电机产生的机械抖动，采用步进电机驱动器的细分技术，通过脉冲频率来控制电机转动的速度和加速度，从而实现调速和准确定位的目的^[13]。

对于二相步进电机的步距角为 3.6° ，电机转 1 圈所需的脉冲数为 100，则步进电机的转速为：

$$\omega = \frac{n}{100m} \quad (13)$$

式中： m 为细分数； n 为控制器的脉冲频率数。

执行机构由步进电机加滚珠丝杠构成，电机转动 1 圈丝杠导程 5 mm，则执行机构的速度 V_c 为：

$$V_c = 0.05\omega \quad (14)$$

利用纸带运动学模型中的纸带横向速度方程 (3) 及执行机构速度方程 (14) 可以得到控制器脉冲频率数 n (步进电机转动角度) 与执行器纠偏位移 S (纸带横向偏移量) 之间的关系：

$$S = V_c t = 0.05\omega t \quad (15)$$

则：

$$n = \frac{2Sm}{t} \times 10^3 \quad (16)$$

式中： m 为细分数； n 为控制器的脉冲频率数； S 为执行器纠偏位移； t 为时间。

3 纠偏控制系统的软件设计

软件设计主要包括以下几个方面：以 STC12C5A60S2 为中央处理器的纠偏控制器的主程序设计、通讯程序、步进电机控制程序、显示模块程序^[14]。

3.1 系统的主流程

基于 STC12C5A60S2 纠偏控制器的设计，一般包括初始化程序、延时子程序、LCD 显示器显示程序、步进电机控制程序等。在主程序中，通过 A/D 转换得到传感器检测到的偏移量，控制器计算出输出量，转换成对应的脉冲信号给步进电机驱动器，控制

步进电机转动，使纸带达到指定的位置。

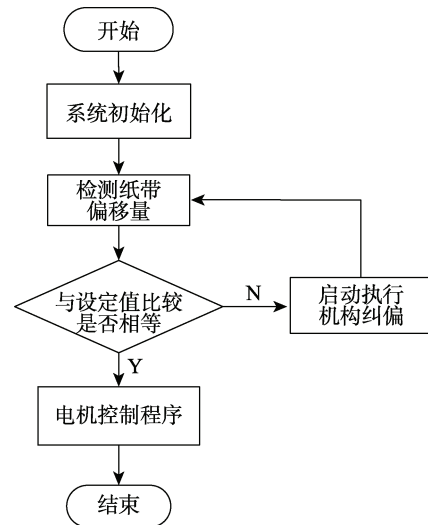


图 5 主程序流程

Fig.5 The main program flowchart

3.2 上位机软件编写

为了更好地实现人机交互性能，该装置还设计了上位机软件界面，主要有通讯、显示、保存数据 3 种功能。上位机是通过串口来接收数据，串口下拉选项可以选择多个波特率，单击打开串口按钮就可以显示接收到的数据，实时波形图可以显示数据变化以及对应的偏移量，同时以文本形式保存，可以让用户更直观地看到控制器的纠偏效果^[15-16]。上位机软件界面见图 6。



图 6 上位机软件界面

Fig.6 PC software interface

4 实验结果与分析

将纸带纠偏控制装置安装在无轴传动实验平台上进行实验，实验台由印刷辊筒、收放卷机构组成，模拟完整的印刷过程。

设定初始印刷转速为 150 r/min，传感器的工作范围为 ± 5 mm，输出电压 0~5 V，以胶版印刷纸作为检测对象，测得的纸带偏移量与输出电压的关系曲线见图 7。从图 7 中可以看出：该装置的有效工作范

围为 ± 4 mm,在该范围内偏移量与输出电压的线性度较好。



图 7 实验平台

Fig.7 Experiment platform

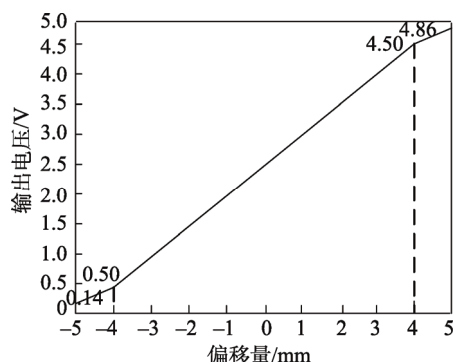


图 8 纸带偏移量与输出电压的关系

Fig.8 Relationship between paper tape offset and output voltage

在纠偏装置有效工作范围内,以胶版印刷纸作为检测对象对 4 种不同印刷速度下的纠偏效果进行多次检验,并取 500 组实验数据求其平均值,其结果见表 1。

表 1 不同印刷速度纠偏效果数据

Tab.1 Data of the guiding control effect at different printing speeds

印刷速度/ ($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)	纠偏前偏移 量/mm	纠偏后偏移 量/mm	绝对 误差
50	0.10	0.07	0.03
100	0.18	0.10	0.08
150	0.25	0.13	0.12
200	0.36	0.15	0.21

由表 1 可以看出,印刷过程中纸带运行越快跑偏现象就会越严重,但在速度提高到的情况下本纠偏装置仍能达到较高的精度并且稳定工作,绝对误差越大表明纠偏效果越显著。

在印刷过程中由于印刷工艺及产品种类的不同,需要不同类型的纸张,为了检验该装置对不同规格型号印刷纸张的纠偏效果,分别使用 4 种类型的纸张在同一印刷速度 150 r/min 下进行多次试验,并取 500 组实验数据求其平均值,其结果见表 2。

表 2 不同类型带材纠偏效果数据

Tab.2 Data of the guiding control effect of different types of strips

纸张类型	纠偏前偏移量/mm	纠偏后偏移量/mm	绝对误差
新闻纸	0.32	0.15	0.17
胶版印刷纸	0.25	0.10	0.15
铜版纸	0.19	0.09	0.10
印刷薄膜	0.34	0.23	0.11

我国国家标准规定套印误差的允差为 0.1 mm,而在明视距离下只要套印误差小于 0.2 mm 时,人眼就不能发现,因此认为,该纠偏装置在 150 r/min 印刷速度下对铜版纸、胶版印刷纸的纠偏效果已经达到了印刷工艺要求,对于新闻纸也具有较好的纠偏效果。当印刷速度超过 150 r/min 时,该装置则无法实现新闻纸和印刷薄膜的精准纠偏,同时由于不同类型印刷带材在原料组成及受温湿度等外界环境影响方面各不相同,所以纠偏效果存在差异。

5 结语

对卷筒纸印刷过程中常见的跑偏现象进行了研究,建立了纸带运动的动力学模型,并推导出了纸带运动的速度微分方程、加速度微分方程;提出一种基于超声波传感器的印刷纸带纠偏方法,并依据该方法设计了以超声波传感器为检测装置,单片机为控制核心,步进电机作为执行机构的纸带纠偏控制装置;分析了本装置在不同印刷速度、不同类型印刷带材条件下的纠偏效果,通过实验表明,该装置设计合理、性能稳定,可满足现代印刷过程中纸带纠偏控制的要求,对于实际生产具有十分重要的意义。

参考文献:

- [1] 张海燕. 印刷机设计[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2006.
ZHANG Hai-yan. Printing Design[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2006.
- [2] ZHOU C, SONG Z K. Application of Ultrasonic in Web Guiding System[J]. Instrumentation Technology, 2010(9): 40—41.
- [3] MIROSLAW N, MAJCHER A. System for Automatic Web Guiding for Roll-to-roll Machine Working in a Start-stop Mode[J]. Solid State Phenomena, 2015, 223: 374—382.
- [4] 陈德传, 陶宏斌. 带材收卷过程中的一种新型纠偏控制系统[J]. 杭州电子科技大学学报, 2008, 28(2): 74—77.
CHEN De-chuan, TAO Hong-bin. A New Deviation Control System for Strip Winding Process[J]. Journal

- of Hangzhou Dianzi University, 2008, 28(2): 74—77.
- [5] 粟建新, 揭屿, 徐正凡. 一种采用步进电机的纠偏控制系统[J]. 应用科技, 2002, 29(2): 17—18.
SU Jian-xin, JIE Yu, XU Zheng-fan. A Correct Deviation Control System Driven by Stepper Motor[J]. Applied Science and Technology, 2002, 29(2): 17—18.
- [6] 赵美宁, 王芳, 王小翠. 无菌袋装机中薄膜自动纠偏装置及控制系统[J]. 轻工机械, 2005, 23(3): 92—94.
ZHAO Mei-ning, WANG Fang, WANG Xiao-cui. Automatic Rectifying Mechanism and Control of Film in Aseptic Packaging Machine[J]. Light Industry Machinery, 2005, 23(3): 92—94.
- [7] SHELTON J J, REID K N. Lateral Dynamics of a Real Moving Web[J]. Journal of Dynamic Systems Measurement & Control, 1971, 93(3): 182—184.
- [8] 侯和平, 刘凯, 张海燕, 等. 印刷机新型双张检测控制器的研究与系统开发[J]. 传感技术学报, 2012, 25(4): 552—556.
HOU He-ping, LIU Kai, ZHANG Hai-yan, et al. Research on New Double Sheet Detection of Press and System Development[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2012, 25(4): 552—556.
- [9] 田志宏, 曹建光, 刘秀红. 超声波传感器在电动轮椅车上的应用研究[J]. 传感技术学报, 2007, 20(3): 719—722.
TIAN Zhi-hong, CAO Jian-guang, LIU Xiu-hong. Application Study of Ultrasonic Sensor on Electric Wheelchairs[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2007, 20(3): 719—722.
- [10] 刘晋, 王政林, 薛凯方. 基于STC12C5A60S2单片机的LED显示屏硬件设计[J]. 微型机与应用, 2011, 30(22): 24—27.
LIU Jin, WANG Zheng-lin, XUE Kai-fang. Hardware Design of Based on the Single Chip STC12C5A60S2 LED Display[J]. Microcomputer & Its Applications, 2011, 30(22): 24—27.
- [11] 吴兴中, 欧青立. 一种PC与单片机多机RS232串口通信设计[J]. 国外电子测量技术, 2009, 28(1): 74—76.
WU Xing-zhong, OU Qing-li. Design of a RS232 Serial Port Communication for Single Chips with PC[J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2009, 28(1): 74—76.
- [12] 蒋萍花, 张楠. 数据采集系统串口通信的设计与实现[J]. 电子测量技术, 2015(6): 139—142.
JIANG Ping-hua, ZHANG Nan. The Design and Implementation of Serial Port Communication of Data Collection System[J]. Electronic Measurement Technology, 2015(6): 139—142.
- [13] 廖平, 韩伟伟. 基于STM32多步进电机驱动控制系统设计[J]. 仪表技术与传感器, 2016(4): 71—73.
LIAO Ping, HAN Wei-wei. Design of Drive Control System of Multiple Stepper Motors Based on STM32[J]. Instrumentation Technology and Sensors, 2016(4): 71—73.
- [14] 蔡友发, 郑惠群. 高精度超声波纠偏控制系统的设计[J]. 工业仪表与自动化装置, 2007(5): 66—67.
CAI You-fa, ZHENG Hui-qun. The Design of a High-accuracy Ultrasonic Web Guide Control System[J]. Industrial Instrumentation & Automation, 2007(5): 66—67.
- [15] MONDAL C, AZAM M K, AHMAD M, et al. Design and Implementation of a Prototype Electrooculography Based Data Acquisition System[C]// International Conference on Electrical Engineering and Information Communication Technology, IEEE, 2015, Hong Kong: 1—6.
- [16] JIANG T, ZHANG J. Design and Implement for User-control Software of Data Acquisition System Based on C[J]. Electronic Test, 2009(9): 58—61.