

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.03.020

# 汽车空调控制系统的低成本设计研究<sup>\*</sup>

朱福根<sup>1</sup>,熊树生<sup>2</sup>,周超<sup>2</sup>,李伟<sup>3</sup>

(1.浙江交通职业技术学院 汽车学院,浙江 杭州 311112;2.浙江大学 能源工程学院,浙江 杭州 310027;  
3.杭州云动智能汽车技术有限公司 浙江 杭州 310011)

**摘要:**为降低自动空调系统的成本,以及在商用车和工程机械上的推广应用等问题,将嵌入式微控制器技术应用到空调控制系统中。对汽车空调制冷和制热的工作机理进行了研究,开展了控制系统主控芯片的降成本选型可行性分析,建立了汽车空调的工作原理和其所适用的控制系统硬件之间的关系,提出了离散化控制算法在低成本空调控制系统中的软件实现方法,给出了基于STC12C5AS2微控制器的控制系统硬件设计。在汽车空调系统模拟测试台上对系统启动时间、操作响应速度等技术指标进行了评价。结果表明,选用8位微控制器设计的汽车空调控制系统不仅可以降低硬件成本,而且开机速度快、操作体验良好,能够满足用户的使用要求。

**关键词:**汽车空调;控制系统;微控制器

中图分类号:TP273;U463.85<sup>+1</sup>

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2017)03-0315-06

## Low cost design of the automotive air conditioning control system

ZHU Fu-gen<sup>1</sup>, XIONG Shu-sheng<sup>2</sup>, ZHOU Chao<sup>2</sup>, LI Wei<sup>3</sup>

(1. Automotive Institute, Zhejiang Institute of Communications, Hangzhou 311112, China;  
2. College of Energy Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;  
3. Hangzhou Yundong Intelligent Vehicle Technology Co., Ltd., Hangzhou 310011, China)

**Abstract:** In order to solve the problems of reducing the cost of automatic air-conditioning system and the promotion and application in commercial vehicles and construction machinery, the embedded microcontroller technology was investigated to air-conditioning control system. The work mechanism of automobile air conditioning refrigeration and heating was studied. After feasibility the analysis of reducing the cost of main control chip of control system, the relationship between the working principle of the automobile air conditioning system and the hardware of the control system applied was established. A method was present that the discretization control algorithm was achieved through software implementation in low cost air conditioning control system. Control system hardware design was given based on STC12C5AS2 microcontroller. The response speed of the air conditioning system, the time of system startup and other technical indicators were subjectively evaluated on the test bench. The experimental results show that 8-bit microcontrollers can not only reduce the hardware cost of air-conditioning control system but also boot speed. And the requirement of users can be meet.

**Key words:** automobile air-conditioner; control system; microcontroller

## 0 引言

当今社会,汽车工业的快速发展,汽车已经成为人们生活中很重要的交通工具,给人们的出行带来了极

大的便利。而汽车的空调系统又是汽车很重要的组成部分。汽车空调系统不仅是衡量汽车舒适性的一个重要指标,也是影响汽车整车性能的一个重要因素。目前市面上的中高档车大多搭配双区独立温控的空调系

统,其操作便捷,舒适性好,但是技术方案相对复杂,成本高。与此同时,低端乘用车尤其是商用车以及工程机械车辆,还大量使用机械式手动空调。由于机械式空调的温度控制方式为借助操作旋钮带动拉线,再由拉线拉动风门,实现开度控制最终实现温度调控,其操作旋钮无法精确设定温度的度数,常常发生设定温度过低,需要人工回调的现象。这样的操作方式舒适性低,同时增加了驾驶员的劳动强度,也容易对行车安全带来不利影响。

随着半导体技术的发展和越来越多的芯片实现了国产化,控制系统的核心半导体芯片的价格越来越低。涌现出了华为、展讯等半导体设计公司。本研究采用的 STC 系列微控制器,是一款国内设计、生产的 8 位单片机。本研究将在当前的市场和技术环境下,采用低成本的技术方案和高级的控制策略设计一套自动空调控制系统,以替代低端车型上采用的机械式空调控制系统。

## 1 汽车空调原理

汽车空调的功能在于把汽车车厢内的温度、湿度、空气清洁度及空气流动调整和控制在最佳状态,为乘员提供舒适的乘坐环境,减少旅途疲劳;为驾驶员创造良好的工作条件。一般包括制冷装置、取暖装置和通风换气装置。汽车空调制冷系统如图 1 所示。

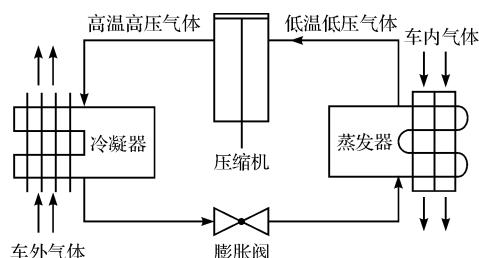


图 1 汽车空调制冷系统

制冷系统主要由压缩机、冷凝器包括冷凝风机、膨胀阀和蒸发器包括蒸发风机组成。其制冷原理是利用液态制冷剂吸热产生冷效应<sup>[1]</sup>。

汽车采暖系统是将某种热源通过交换装置传递到空气,再通过送风装置把热空气送入车内实现供暖。笔者所研究的自动空调系统中的采暖部分采用的就是余热水暖式装置,利用发动机冷却水的余热作为热源,混合使用车内和车外空气作为热载体,其工作原理图如图 2 所示。

整个采暖系统由发动机冷却系统、采暖加热器、热水阀、鼓风机等组成<sup>[2]</sup>。

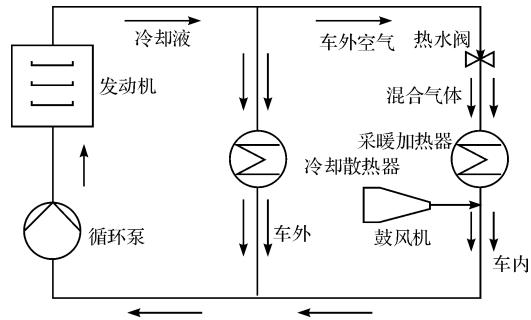


图 2 水暖式采暖系统

## 2 系统控制原理

系统控制原理如图 3 所示。

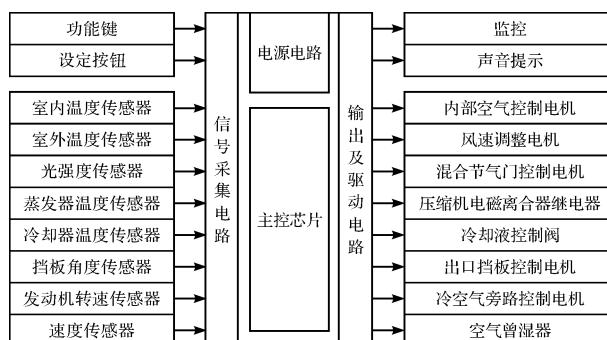


图 3 系统控制原理

该系统实现的汽车空调是一个智能控制系统由 3 部分组成,从左往右依次为:用于用户操纵输入和传感器采集的输入模块,用于处理数据来控制空调的主控制模块,用于执行输出动作和显示空调当前状态的执行模块。主控制模块包括数据处理的主控芯片,接收数据的信号采集电路,转换信号的输出驱动电路和状态指示器驱动模块。所有上述模块通过连接器和线束连接起来。

该系统的主要工作原理如下:车辆乘员通过功能键和设定按钮设置好所需的温度,作为控制系统的控制目标。此外,主控制模块还需要根据当前的室内外温度、光强度等环境状况,发动机转速、车速等车辆状况以及蒸发器和冷却器温度等空调系统本身的工况来查询当前条件下应当选用怎么样的控制策略输出参数。控制策略以表单集合的形式预先存储在主控芯片的存储器中,在上述输入条件都获取完毕后,主控制模块立即通过查表指令查到当前工况下,控制策略的输出参数值。因此,通过输出及驱动电路即可精确控制鼓风机转速、混合节气门开度、内外循环模式、压缩机启停等执行器动作。同时把室内温度、风量等实时状态量通过显示屏进行显示。

### 3 系统硬件设计

该汽车空调控制系统硬件主要包括以下几个部分:电源电路,鼓风机转速控制电路,伺服电机驱动电路,液晶显示屏及按键电路,电磁阀控制电路,温度传感器数据采集等。

#### 3.1 主控芯片

本研究采用了一颗低成本、高性能的增强 51 内核单片机 STC12C5AS2 作为主控芯片。这颗芯片的优势是低成本,高抗扰性,工作温度宽,能够满足汽车级使用要求。该系统采用的算法已经固化在 Flash 中,不需要进行浮点运算,对 MCU 的计算能力要求并不高,本单片机内含的 8 位增强内核完全能够胜任。其片内的 60 KB Flash 足够存放程序和算法数据。最多 44 pin 的封装有充足的 IO 口实现输入输出的构建。因此,笔者认为,不必盲目追求高性能 ARM 内核 MCU,在够用的情况下,这颗国产高性价比主控芯片非常适合该系统的开发<sup>[3]</sup>。

#### 3.2 执行器控制

##### 3.2.1 鼓风机转速控制

鼓风机转速控制采用脉宽调制(PWM)方法,电路图如 4 所示。

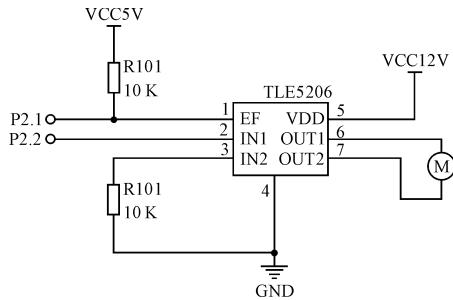


图 4 鼓风机转速控制电路

鼓风机在全速工作时的电压为 12 V,图 4 所示的 P2.2 口连接 STC 单片机的 PWM 输出接口,经过驱动芯片 TLE5206 对控制信号进行功率放大,通过改变鼓风机(图 4 中 M 符号)的平均电压值从而达到控制鼓风机转速的目的。

芯片 TLE5206 主要用来驱动鼓风机,最大工作电流为 4.5 A,内部设置了温度保护和过流保护的功能。根据设计要求,鼓风机转速设计成 5 个等级,在最小的 1 级风力下,输出的脉冲占空比为 50%,在最大的 5 级风力下为 100%,其余各级风力下输出的脉冲占空比为此上、下限均匀分布值。

#### 3.2.2 伺服电机转向控制

伺服电机工作电路如图 5 所示。

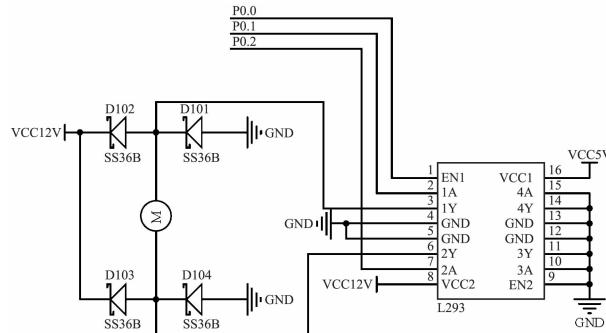


图 5 伺服电机工作电路

EN1—使能信号;1 A,2 A—电机转动方向控制信号。

伺服电机电路中采用 L293 芯片。L293 采用 16 引脚 DIP 封装,其内部集成了双极型 H-桥电路,将 2 个 H 桥电路集成到 1 片芯片上,可以同时控制 2 个电机。L293 每个电机有 3 个控制信号,如图 5 所示,本研究采用了 EN1、1A、2A 引脚,1 A、2 A 以用来设置电机转动方向,在使能信号为 1(高电平)的情况下,当方向控制信号分别为 1(高电平),0(低电平)时,电机正转,反之,电机反转。使能信号可以用于脉宽调整,将 MCU 的 PWM 输出连接至 EN1 引脚,通过调整 PWM 的占空比可以调整电机的转速<sup>[4]</sup>。

#### 3.3 温度数据采集

为了进行温度信号的测量及反馈调节,该系统中采用型号为 DS1722 的温度传感器。DS1722 是一种低价位、低功耗的 3 总线式数字温度传感器,该数字传感器是 8 管脚 SOIC 封装。它由 4 个主要部分组成:精密温度传感器、模数、SPI/三线接口电子器件和数据寄存器。温度的测量范围在 -55 ℃ ~ +120 ℃,温度测量分辨率 5 ~ 12 位;温度测量精度 ±2.0 ℃;模拟电压范围在 2.65 V ~ 5.5 V,数字电压范围在 1.8 V ~ 5.5 V。有两种可由软件选择的串行接口:摩托罗拉 SPI 接口、标准三线串行接口<sup>[5]</sup>。它与大多数其他形式的温度传感器相比,不存在线性化、标定等问题<sup>[6-7]</sup>。

### 4 系统软件设计

汽车空调控制软件部分采用 C 语言开发,KeilC51 软件进行编译。本研究所设计的空调系统可以根据乘客调节温度、风力以及在面板上显示出来。

#### 4.1 主程序

其中,执行器控制模块分别包括鼓风机、伺服电

机、电磁阀、压缩机几个部分的控制。本研究所设计的空调控制系统分为 5 个等级的风量控制。当通上电之后, 主程序执行屏幕初始化程序, 随后读取系统中保存的上一次开关设置值。根据这些值, 液晶显示屏进行界面显示。此时若乘客按下空调按钮, 整个空调系统就会开始工作, 最开始空调的风量为一级。乘客此时可以根据自身的需求, 调节风量和温度的大小。当乘客设定好目标温度和风量时, 控制系统开始进行数据采集。首先系统采集的是乘客在输入面板中设定的温度和风量值, 然后采集环境变量、车况变量等输入。然后和当前的执行器状态比较, 若采样的温度数据和驾驶员在空调面板上设定的值不同, 空调控制器就会根据内置的算法, 控制执行器, 最终达到乘客的设定要求。

本研究控制系统主程序流程如图 6 所示。

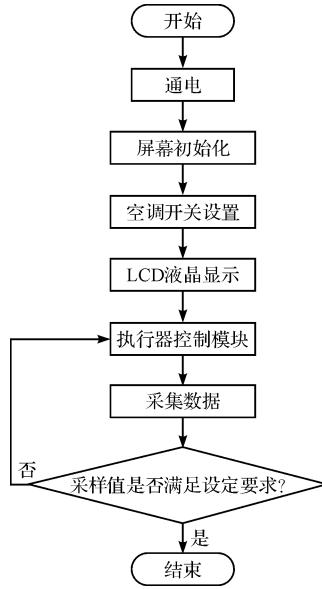


图 6 主程序控制流程

## 4.2 温度采集子程序

温度采集子程序的作用是让单片机对温度传感器 DS1722 进行读写控制。系统通过温度转换命令让传感器采集温度信号, 然后将信号传送出来, 通过调用显示子程序, 显示出当前温度。根据 DS1722 的通信协议, 首先要对 DS1722 进行初始化, 然后通过读 DS1722 判断传感器是否存在, 成功后发送一条跳过 ROM 指令, 为执行温度转换命令作准备, 最后发送 RAM 指令进行温度转换, 这样就实现了单片机对 DS1722 的正确控制<sup>[8]</sup>。为了提高传感器的工作可靠性, 系统在完成温度采集逻辑之后对温度传感器进行一次复位。复位 DS1722 之后, 主控芯片在没有进入更高优先级中断的情况下, 立即调用显示子程序把采集到的温度实时地显示出来。DS1722 操作过程如图 7 所示。

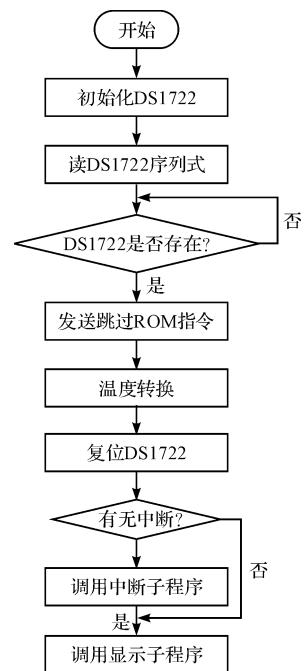


图 7 DS1722 操作过程

## 4.3 伺服电机控制子程序

系统中出风模式以及除霜模式通过控制伺服电机转过的角度及其转向来实现。控制伺服电机正转、反转、停转功能是通过相应引脚至高/低电平来实现的。模式控制的流程如图 8 所示。

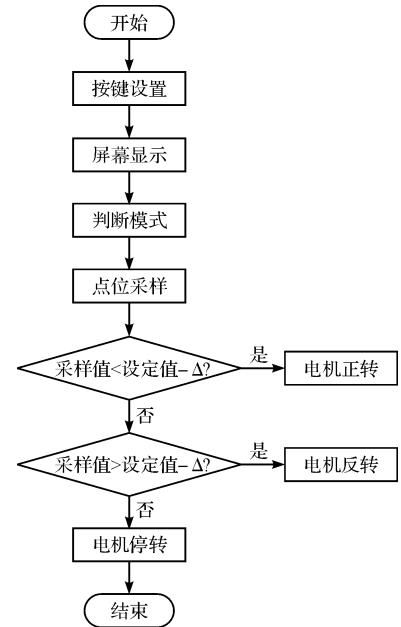


图 8 模式控制流程

该流程从乘客对模式按键的设置开始, 设置好后首先在显示屏上对设置值进行显示, 然后根据客户的设定和空调系统的逻辑进行模式识别, 以便剔除无效设置(比如在除雾模式下不能设置为内循环)。确定好模式后, 对伺服电机进行点位采样, 当采样值小于

设定值和 $\Delta$ 的差,控制电机正转,反之,控制电机反转。

在这个流程中需要设定一个 $\Delta$ 值,因为电机的转动不能很准确地达到本研究所设定的位置,因此设定一个 $\Delta$ 值,只要电机可以在 $\pm\Delta$ 的范围停转,就说明本研究的控制是满足要求的。同时 $\Delta$ 能够起到一些抗干扰的作用。

#### 4.4 执行器控制子程序

当系统具备传感器的输入和驾驶员在操作面板上的操作意图输入的采集功能,同时具备鼓风机、模式控制伺服电机等执行器的控制能力后。即可根据内嵌的多维数据表格,通过查表的方式,根据对应的输入,查到相应的输出动作。执行器控制流程如图9所示。

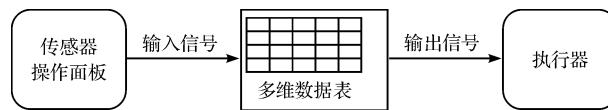


图9 执行器控制流程

空调控制系统中的软件核心策略是一个多维数据表,他可以根据输入,查表后得到输出。通过这种方式降低了控制器主控芯片对浮点计算能力的要求,相应地降低了主控芯片的成本。

#### 4.5 控制面板设计

控制面板是负责控制汽车空调模式,温度,风速等参数。控制面板的电路设计在下层线,而上层行包含略微突起按钮。当按下上层线面板上的按钮,这时连接到按钮的两端的导线连接。该面板上的每个按钮引

出一个导线同时带有一个地线。按下按钮,接地线连接到相应的键,从而使微控制器接收一个低信号。

控制面板如图10所示。

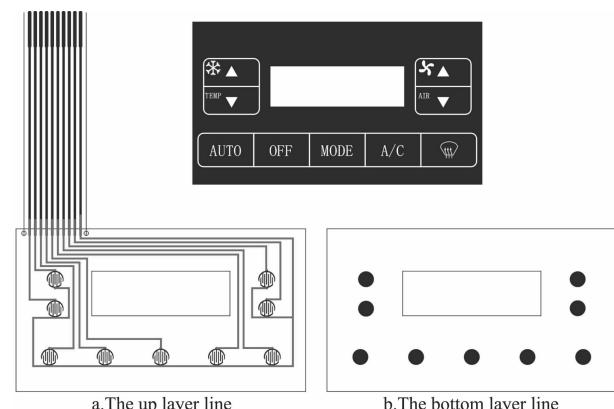


图10 控制面板

### 5 试验及结果分析

本研究在浙江省汽车空调零部件检测中心对控制系统进行了系统调试。控制器以外的空调系统零部件,包括压缩机、两器、膨胀阀、鼓风机等,大部分采用一款微车上用的相应零件。模式切换风门伺服电机,温度、光照传感器等电子零件则是转为系统匹配过的零件。试验台架处于一个封闭的房间,用来模拟汽车的驾驶室。测试人员位于该封闭空间内,通过操作空调控制面板,调节空调的各项参数。并通过主观评价的方式对空调控制系统进行测评。每项测试内容记录3次测试结果。评价点检表的摘要如表1所示。

表1 主观评价点检表

| 类别     | 检查项目     | 检查内容                     | 结果1   | 结果2   | 结果3   |
|--------|----------|--------------------------|-------|-------|-------|
| 系统本身性能 | 启动时间     | 控制系统上电后到显示面板显示启动界面的时间间隔  | 2.7 s | 2.8 s | 2.5 s |
|        | 显示效果     | 显示文字及图案清晰可辨,显示屏无抖动、闪烁现象。 | OK    | OK    | OK    |
|        | 风量调节响应时间 | 调节风量输出按钮到鼓风机开始调速的时间间隔    | 1.2 s | 1.4 s | 0.9 s |
| 人机交互性能 | 温度设定响应时间 | 调节温度设定按钮到显示屏上的数字改变的时间间隔  | 1.1 s | 1.6 s | 1.4 s |
|        | 模式切换     | 按动模式切换按键到相应的混合节气门动作的时间间隔 | 1.6 s | 1.2 s | 0.9 s |

系统启动时间是衡量控制系统响应速度的一个重要指标,直接反应出控制系统中的主控芯片的计算速度,车载设备可接受的启动时间往往被限定在3 s以内,因此该试验结果间接证明了8位微控制器有能力完成空调控制器的计算任务。对于风量调节的响应速度则反应出控制系统从输入到处理再到输出整个链路的响应时间,这个时间不仅包括了微控制器的处理速度,还包括操作按键的采样时间和伺服电机驱动电路的延迟。一般认为,0.2 s的操作响应时间被认为是符合人机工程学的<sup>[9]</sup>,该试验结果的测试方法为人工计

时,必然存在测量误差,但已经非常接近理想数值。

### 6 结束语

本研究介绍了汽车空调系统的原理,并提出了一种低成本的自动空调控制系统设计方案。对该系统的操控性能进行了主观操作评价,结果表明,空调控制系统的各项操作均能在2 s之内得到响应,人机交互性能良好。得出低成本8位微控制器在自动空调控制系统中应用的可行性。

因试验条件的限制,笔者没有开展控制系统对车

内温控的精确度的研究。本研究为低端车型以及工程机械空调系统升级换代创造了一条途径。此外,空调控制系统的传感器和执行器驱动电路还存在降本替换方案,值得进一步深入研究。

### 参考文献(References) :

- [1] 刘丽. 基于单片机 SPCE061A 的汽车空调控制系统 [D]. 合肥: 合肥工业大学电气与自动化工程学院, 2006.
- [2] 窦自强. 基于 AVR 单片机的汽车空调控制系统设计 [D]. 合肥安徽农业大学工程学院, 2011.
- [3] 王俊杰, 顾冬华. 基于 STC12C5410AD 单片机的单相电参数测量仪设计 [J]. 郑州轻工业学院学报: 自然科学版, 2010, 25(1): 57-60.
- [4] 徐进, 钟芳梅. 基于 STC12C5A60S2 单片机的汽车空调

(上接第 314 页)

### 参考文献(References) :

- [1] 王东署, 迟健男. 机器人运动学标定综述 [J]. 计算机应用研究, 2007, 24(9): 8-11.
- [2] HAYATI S A. Robot arm geometric link parameter estimation [C]// Proceeding of the 22nd IEEE Conference on Decision & Control, San Antonio: IEEE, 1983.
- [3] 陈钢, 贾庆轩, 李彤, 等. 基于误差模型的机器人运动学参数标定方法与实验 [J]. 机器人, 2012, 34(6): 680-688.
- [4] HE R B, LI X W, SHI T L, et al. A kinematic calibration method based on the product of exponentials formula for serial robot using position measurements [J]. **Robotica**, 2014, 33(6): 1-19.
- [5] GAN Y H, DAI X Z. Base frame calibration for coordinated industrial robots [J]. **Robotics & Autonomous Systems**, 2011, 59(7-8): 563-570.
- [6] WU L, REN H. Finding the kinematic base frame of a robot by hand-eye calibration using 3D position data [J]. **IEEE Transactions on Automation Science & Engineering**, 2016(9): 1-11.
- [7] KOLYUBIN S A, PARAMONOV L, SHIRIAEV A S. Optimising configurations of KUKA LWR4 + manipulator for cali-

控制系统的[J]. 汽车电器, 2014(6): 14-16.

- [5] 于宽, 曾志永, 凌振宝, 等. 数字温度传感器 DS1722 原理及应用 [J]. 传感器世界, 2004, 10(10): 38-41.
- [6] 陈文鑫. 基于 CAN 总线及智能控制算法的汽车空调控制系统的[J]. 上海: 上海交通大学机械与动力工程学院, 2009.
- [7] 胡乃强, 杨政. 基于 CAN 总线技术上的压流量控制 [J]. 液压气动与密封, 2015(5): 38-40.
- [8] 黄桂梅, 刘永立, 曲卫东. 基于 DS18B20 与 AVR 单片机的测温技术 [J]. 仪器仪表用户, 2010, 17(1): 51-52.
- [9] 胡明辉. 人机交互等待状态的用户体验研究和设计对策 [D]. 北京: 北京理工大学机电学院, 2015.

[编辑: 周昱晨]

bration with optical cmm [M]. Berlin: Springer International Publishing, 2015.

- [8] 叶声华, 王一, 任永杰, 等. 基于激光跟踪仪的机器人运动学参数标定方法 [J]. 天津大学学报: 自然科学与工程技术版, 2007, 40(2): 202-205.
- [9] 王伟, 刘立冬, 王刚, 等. 基于四元数表示法的机器人基坐标系标定方法 [J]. 北京航空航天大学学报, 2015, 41(3): 411-417.
- [10] GAO X S, YUN C, JIN H, et al. Calibration method of robot base frame using procrustes analysis [C]// Asia-Pacific Conference on Intelligent Robot Systems. Tokyo: IEEE, 2016.
- [11] 李爱国, 胡英, 马孜. 标定方程  $AX = ZB$  的两种新解法 [J]. 系统仿真学报, 2008, 20(14): 3670-3674.
- [12] 钱萍, 王惠南. 基于对偶四元数的航天器交会对接位姿双目视觉测量算法 [J]. 宇航学报, 2013, 34(1): 32-38.
- [13] 付晓龙, 何建萍, 王付鑫. 管-管相贯线机器人焊接枪体姿态的拟合 [J]. 轻工机械, 2015, 33(3): 26-29.
- [14] 方向. 基于对偶四元数的航天器相对位姿耦合自适应控制 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学机电工程学院, 2015.

[编辑: 周昱晨]

### 本文引用格式:

朱福根, 熊树生, 周超, 等. 汽车空调控制系统的低成本设计研究 [J]. 机电工程, 2017, 34(3): 315-320.

ZHU Fu-gen, XIONG Shu-sheng, ZHOU Chao, et al. Low cost design of the automotive air conditioning control system [J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2017, 34(3): 315-320.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>