

文章编号:1671-8879(2005)02-0090-05

基于 DSP 芯片的接触式自动找平控制器

惠纪庄, 吴成富, 焦生杰

(长安大学 道路施工技术与装备教育部重点实验室, 陕西 西安 710064)

摘 要:针对摊铺机自动找平控制系统的功能和实际工程要求,分析了其液压系统和控制原理,给出了自动找平系统的控制方案。以 TMS320LF2407A 为控制核心。运用 P87C591 单片机为处理器的智能传感器节点,完成了接触式自动找平控制器设计。该控制器具有“控制窗口”、“停车待料”和“数据恢复”等功能,保证了系统的控制性能。采用软硬件相结合多重滤波和时间片轮换控制处理方法,有效解决了控制器易受外界环境干扰以及系统的超调问题。试验结果表明,该控制器性能稳定,抗干扰性强。

关键词:机械工程;摊铺机;自动找平控制器;DSP 芯片;时间片

中图分类号:U415.521; TP273 **文献标识码:**A

Touched automatic controller for elevation based on DSP

HUI Ji-zhuang, WU Cheng-fu, JIAO Sheng-jie

(Key Laboratory for Highway Construction Technology and Equipment of
Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: Combining the paver's function of the automatic system for leveling and the demand of practical engineering, the system's strategy was studied by analyzing the leveling hydraulic system with control theory. The automatic controller for leveling was developed, which is based on TMS320LF2407A chip as the main microprocessor and the microchip computer P87C591 as the intelligent sensor. It has the functions of control window, parking for awaiting materiel and data resume to ensure the controller can finish its work excellently. Its multiple hardware, software filter and transmigration time piece can effectively solve the problems that the controller is influenced by the outside environment and the exceeding adjustment. The testing results indicate that it has good reliability and anti-interference ability.

Key words: mechanical engineering; paver; automatic controller for elevation; DSP; timeslice

0 引 言

公路建设的迅猛发展对路面平整度的要求不断提升。沥青混凝土摊铺机作为沥青摊铺作业的主要机械设备,在高等级公路的施工中,其自动找平控制器性能的好坏直接影响到路面铺筑的质量。目前,

中国对自动找平控制器的研究和开发几乎处于空白,使用的摊铺机自动找平控制器大部分是进口德国的 MOBA 公司、美国的 TOPCON 公司生产的系列产品^[1]。国家“工程机械‘十五’发展规划”中,把提高 9 m 宽以下沥青混凝土摊铺机技术水平作为十五期间科技开发的重点产品之一。2002 年 2 月,

收稿日期:2003-11-30

作者简介:惠纪庄(1963-),男,陕西渭南人,长安大学副教授。

中国正式启动的 863 计划项目中将智能摊铺机作为第一重点产品进行开发和技术提升,而自动找平控制系统是摊铺机控制系统中的重要组成部分。因此,研究开发具有中国自主知识产权的高性能自动找平控制器十分重要。对此,本文基于 DSP 芯片的接触式自动找平控制器,研究结果为开发多探头超声波自动找平控制系统奠定了基础。

1 控制系统工作原理及设计目标

1.1 控制系统工作原理

图 1 是摊铺机找平系统液压原理图,自动找平液压系统采用 2 个电磁换向阀,控制左右工作油缸的上下 2 个腔的油路通断,从而达到控制活塞行程的目的。控制系统的控制核心是控制电磁换向阀的油路流向来控制活塞的上升和下降,通过改变电磁换向阀的通断时间来控制活塞的运动速度。实现熨平板对路面波动的自动补偿。

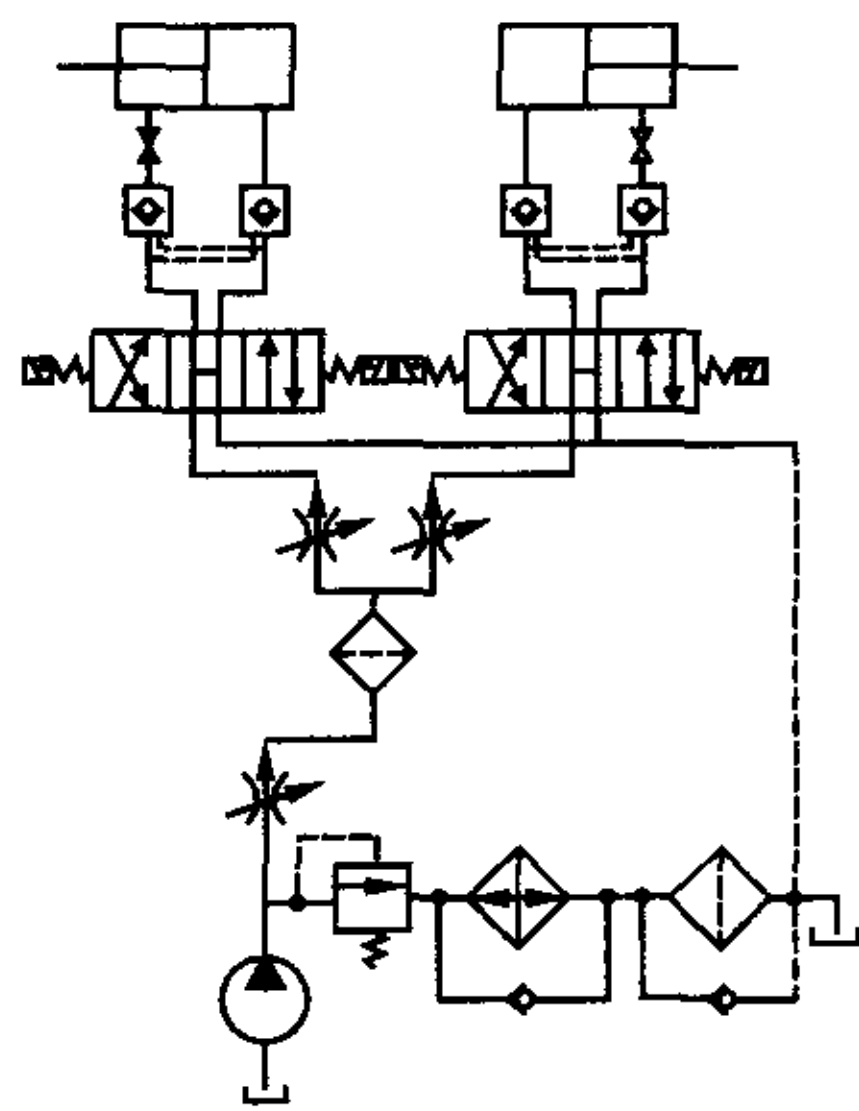


图 1 摊铺机找平液压系统原理图

1.2 自动找平控制器设计目标

传统的接触式自动找平控制器一般采用模拟电路来实现,其功能相对较单一,只具备通过角度传感器检测到的高度误差反馈来对熨平板升降进行控制、灵敏度设置以及自动手动切换几个基本功能^[2]。本次设计采用数字式控制,结合实际施工情况,在提高控制精度的基础上,操作人员应能在工作中随时了解到控制器的运行状态,根据不同的路况和路面平整度要求对控制系统进行参数设置,使控制器能够满足不同等级路面施工的需求。控制器还应具备自动检测控制器在特殊情况下反馈信号的有效性以及控制器对故障和非常情况的处理等功能。综合考虑,自动找平控制器应具备以下功能^[3]:

(1)具备两种工作模式,手动模式和自动模式,在摊铺机工作时,应能在两种工作模式之间相互切换。

(2)具有灵敏度设置功能,摊铺机在不同的施工环境和摊铺不同等级的路面时,能对灵敏度进行调整,通过合理设置保证路面平整度要求,减小熨平板振荡。

(3)系统应该设有 1 个窗口值,当触臂的角度偏差在一定范围内时,系统处于正常工作状态,若触臂

的角度偏差超出设定的窗口值范围,则表明触臂可能从基准绳上掉落或者因摊铺路面没有清扫干净而产生错误信号,此时系统的控制信号应立即停止输出,同时以一定的方式通知操作人员,保证系统能在正常状态下运行。

(4)在自动模式下,系统应能在任何时候选择该时刻熨平板的高度为本段路面的基准高度。

(5)系统应具有故障诊断功能,当控制器驱动电路或电磁阀发生短路或断路故障,应能及时地通知操作人员,保证系统运行的稳定性。

(6)在手动模式下应保持高度误差显示和故障诊断功能,并可通过手动操作控制熨平板的升降。

(7)能随时对灵敏度和窗口值进行设置,通过设置系统各项参数,根据不同的高度误差对熨平板采用不同的调整方式,实现对熨平板的精确控制。

(8)考虑到摊铺机在工作中有时由于混合料的供应速度跟不上摊铺速度,使得摊铺机处于停机待料的状态,此时自动找平控制器不应熨平板进行控制,所以控制器必须有 1 个接口用于接收摊铺机主控制器发出的停机待料信号,使控制器也处于待料的状态,直到摊铺机恢复正常工作。

(9)控制器必须具备控制参数的实时保存功能,摊铺机在停车待料熄火后再次开机时系统参数自动恢复,保证断电前后系统运行参数的一致性。

2 控制器 CPU 的选择

控制器采用 TI 公司的 DSP 芯片 TMS320LF2407A 作为控制器 CPU^[4]。它是针对电机数字化控制而推出的一种低成本、低功耗、高性能的数字信号处理器,具有处理性能好,运算速度快,外设集成度高, A/D 转换速度快等优点。TMS320LF2407A 内部集成了 16 路 10 位 A/D 转换器, SPI 外设接口, CAN 总线控制器, SCI 串行通信接口, 4 个通用定时计数器等功能。将 TMS320LF2407A 作为摊铺机自动找平控制器的控制核心,不仅能够保证摊铺机自动找平控制器对路面平整度的精确控制,而且容易实现复杂的控制算法,便于实现系统的扩展和软硬件的升级。

3 控制器硬件设计

自动找平控制器的硬件结构如图 2 所示,主要包括开关量输入、故障诊断模块、CAN 通讯接口、驱动电路、显示模块、智能传感器节点等部分。

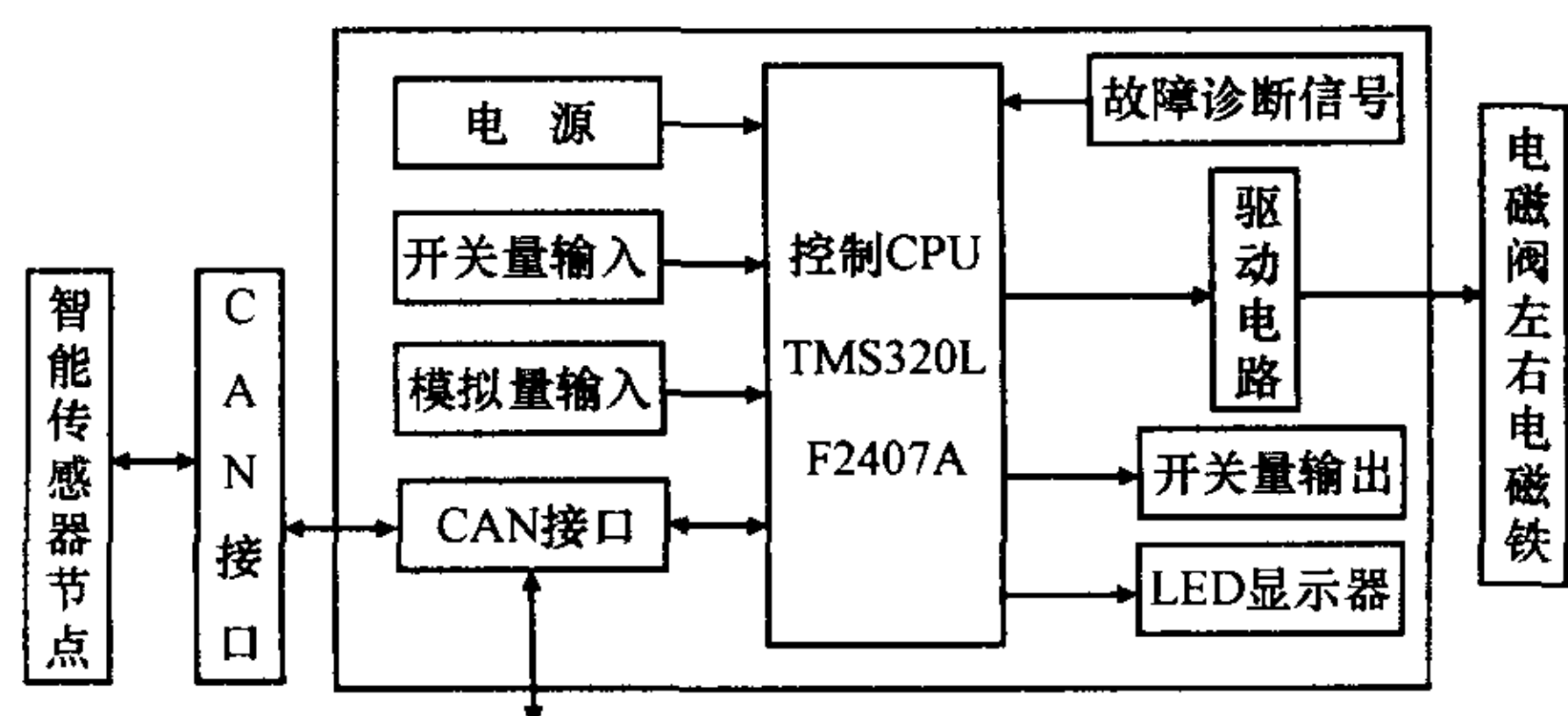


图2 自动找平控制器系统结构

3.1 开关量输入设计

(1)灵敏度设置键:此按键配合“增”键和“减”键来调节摊铺机自动找平控制系统的控制精度,以满足不同工况下不同的路面平整度施工要求。

(2)窗口值设置键:此按键配合“增”键和“减”键来设定角度传感器的工作范围,防止传感器的触臂在摊铺机工作过程中与钢丝绳发生脱离,导致系统产生误调。

(3)自动/手动键:切换系统自动/手动状态。

(4)“增、减”键:在自动状态时,这2个按键配合灵敏度和窗口值设置键一同调节系统的各项参数。在手动状态时,可通过这2个按键直接控制熨平板的升降。

3.2 功率驱动模块设计

控制器采用脉冲比例式的控制方式来控制电磁铁的通断,系统通过检测路面高度变化情况,根据高度误差的大小来调节 PWM 波的占空比,实现对熨平板升降速度的控制。

PWM 信号的调制频率的选择应考虑阀本身的响应特性,例如固有频率和过渡时间。因为响应 PWM 信号的颤振分量不能单独调节,它是由脉宽调制频率、脉冲宽度、阀芯运动响应时间等因素综合决定,一般颤振分量的振幅大约为额定控制信号 10%。这样,PWM 信号的调制频率不超过 1kHz 为宜。摊铺机自动找平系统的电磁换向阀的截止响应频率为 4Hz,所以在设置 PWM 信号输出时,其频率必须小于截止频率。本系统将输出的 PWM 控制信号频率设定为 3Hz,通过改变 PWM 信号的占空比来控制电磁阀的通断时间,从而达到对熨平板仰角的精确控制。

TMS320LF2407 输出的 PWM 信号只有 3 mA,而电磁换向阀的驱动电流为 1~1.5A。所以为了确保控制信号能完全驱动电磁换向阀,系统采用了 TIP122 达林功效管驱动(图 3),使得 PWM 波输出的驱动能力能够达到 1.5 A,满足系统的控制需求。

3.3 故障诊断模块设计

故障诊断模块主要是通过检测驱动电路中采样电阻的电压值来判断驱动电路和电磁换向阀的工作状态(图 3)。该模块能够及时检测到达林顿管或是电磁阀是否发生断路、短路故障,同时切断控制信号的输出,并通过声光报警和显示故障代码的形式通知操作人员,确保控制器对熨平板的准确控制。

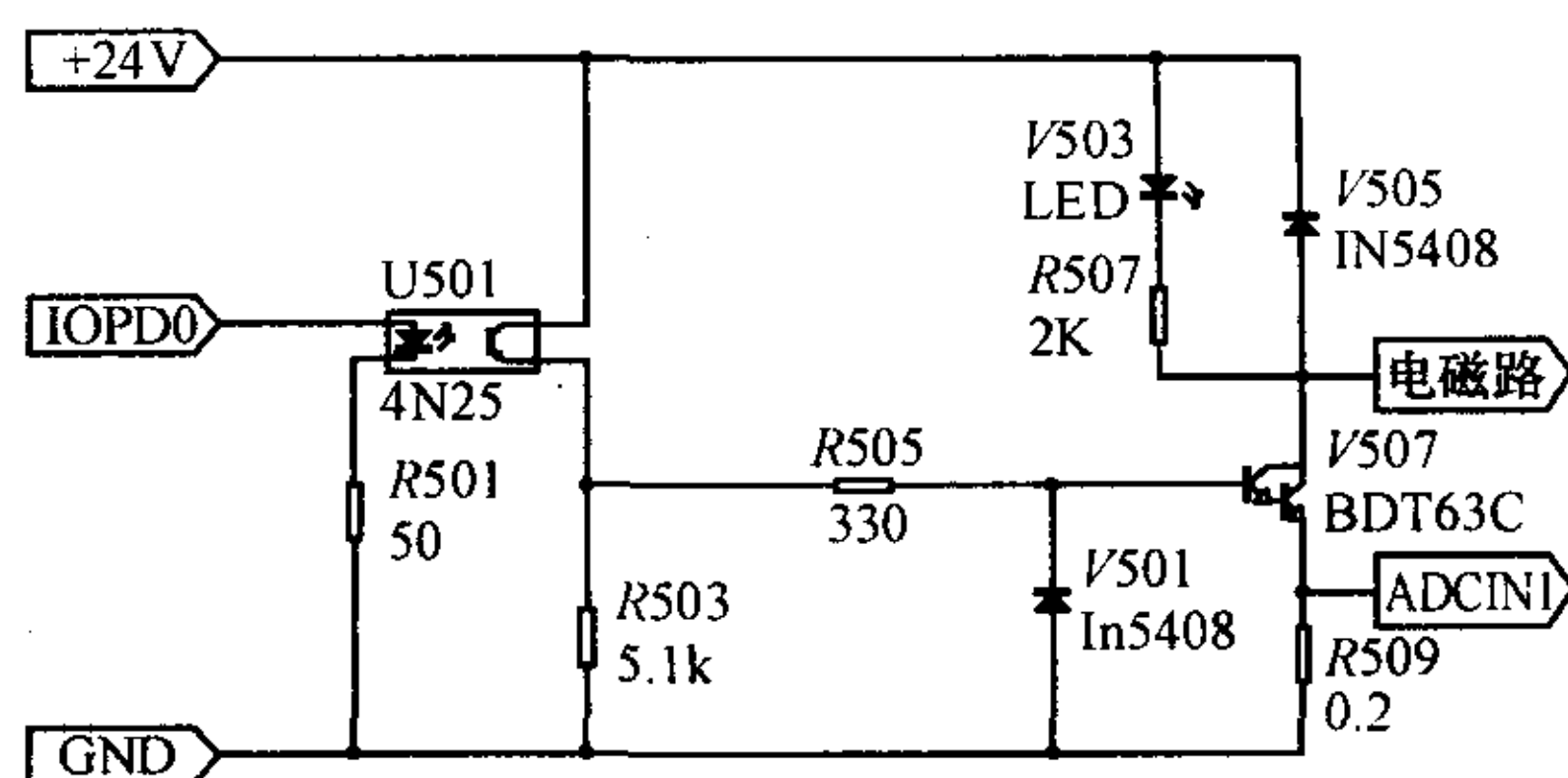


图3 驱动电路原理图

3.4 CAN 通讯模块设计

传统的数字式自动找平控制器的数据传输设计通常采用 RS485 通信协议,随着摊铺机智能化程度的不断提高,这种通信协议的通信距离,数据传输的可靠性以及工作方式和系统扩展能力已经不能满足设计要求。随着现场总线技术的发展,目前摊铺机乃至工程机械控制系统中,CAN_BUS 以其高速、长距离、高可靠性以及良好的系统扩展能力得到了广泛的应用^[5]。本设计考虑到系统的可靠性以及兼容性,采用了传感器和主控制器分离的设计方法,将传感器独立设计成 1 个智能传感器节点,传感器和主控制器之间的数据传输采用了 CAN_BUS 通信协议,大大提高了系统的可靠性,同时为升级到非接触式自动找平控制器奠定了硬件基础。

CAN 通信模块的主要任务是数据传输,主控制器中 TMS320LF207 内部集成了 CAN2.0B 通信模块,只需在 CPU 外部接上 CAN 驱动芯片即可进行数据传输。

智能传感器节点中,传感器选用了日本三菱公司的磁敏角度传感器,CPU 选用的是 PHILIP 公司生产的 P87C591 单片机,该微处理器内部集成了 CAN2.0B 通信模块和 6 路 10 位 AD。传感器节点的结构框图如图 4 所示。由于传感器的线性工作角度为 $\pm 45^\circ$,输出电压为 2.5~3.5 V,如果不将这个信号做处理,只是简单地将其放大或缩小到 A/D 转换器的转换输入电压范围,就会影响系统的控制精度。所以本系统在传感器和 A/D 转换器之间加上了测量放大电路、低通有源滤波电路和电压匹配电路等(图 4),使得传感器最终输入到 A/D 转换器上

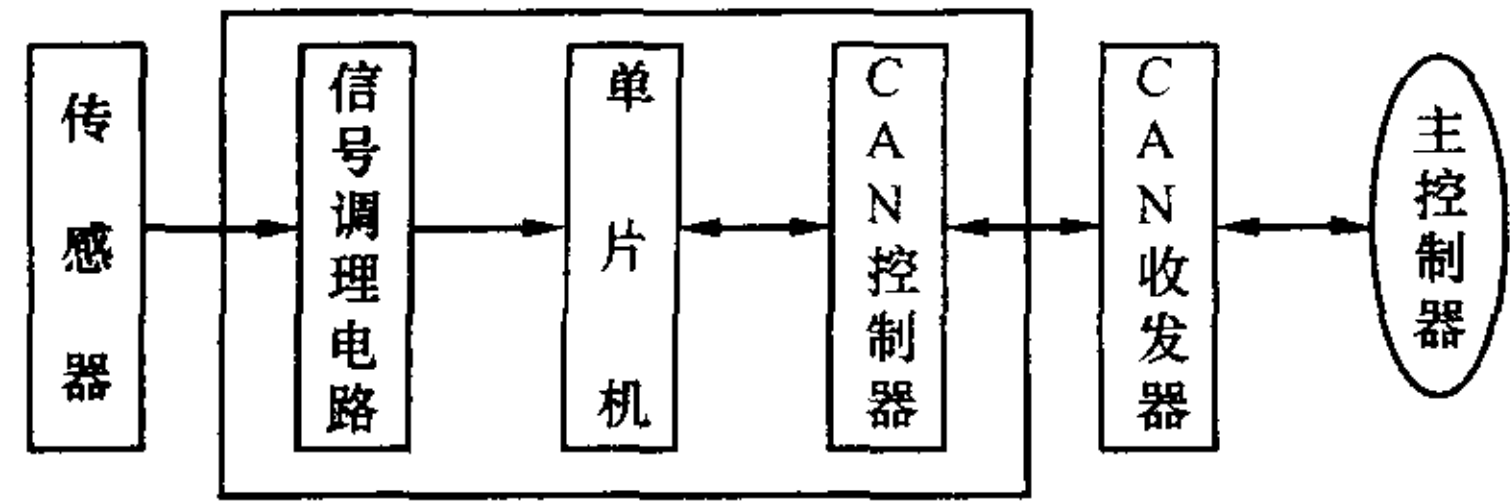


图 4 智能传感器节点结构框图

的电压值为 0~5 V 之间,再传给 CPU 进行 AD 转换,P87C591 单片机将 AD 转换后的信号通过 CAN_BUS 传给主控制器作进一步处理。

4 控制器软件设计

控制器发出控制信号后,其执行机构并不能马上对控制信号进行完全响应,而是要有一定的延时。如果在控制信号给出后,立刻对高度传感器的反馈信号进行再次采集处理,可能导致系统的超调。因此本系统在软件设计时引用了嵌入式操作系统中的时间片的概念^[6,7],我们把整个系统的工作分成 2 个部分(即 2 个任务),1 个任务是处理按键、显示、输出控制等工作,另 1 个任务则专门用于处理信号处理,2 个任务具有相同的优先级,通过一个时间片的切换实现任务的转换。通过这样的系统设计,可以看到,系统的控制信号对传感器传过来的信号并不马上响应,而是把传感器的信号保存在数据缓存区,等时间片一到,把在此期间采集的数据统一应用于滤波算法进行处理。时间片的长短选取是十分重要的一环,太长则影响系统的响应速度,太短又达不到相应的补偿效果。经过实验,在摊铺机自动找平控制系统中,时间片的长度取 0.25 s 左右,基本上能满足系统的控制要求,保证系统不仅能及时响应路基波的变化,而且基本解决了由于某些路段路表情况较差而导致系统的不稳定。

系统的软件设计按照模块化设计思想,将程序划分为按键扫描模块、显示模块、数据采集模块、时间片处理模块、通信模块、数字滤波模块等。图 5 为系统主程序流程图。

5 系统抗干扰设计

摊铺机自动找平控制系统的控制精度在很大程度上取决于控制系统的抗干扰性能。在摊铺机工作时,来自工作现场的电磁干扰是干扰信号传输的 1 个主要干扰源,系统对输入输出通道和数据传输通道采用了电磁屏蔽和光电隔离技术,有效屏蔽了电磁干扰对系统控制精度的影响。

摊铺机自身振动和熨平板工作时,为保证摊铺出来的路面具有一定的粗压实度而产生的自振动,

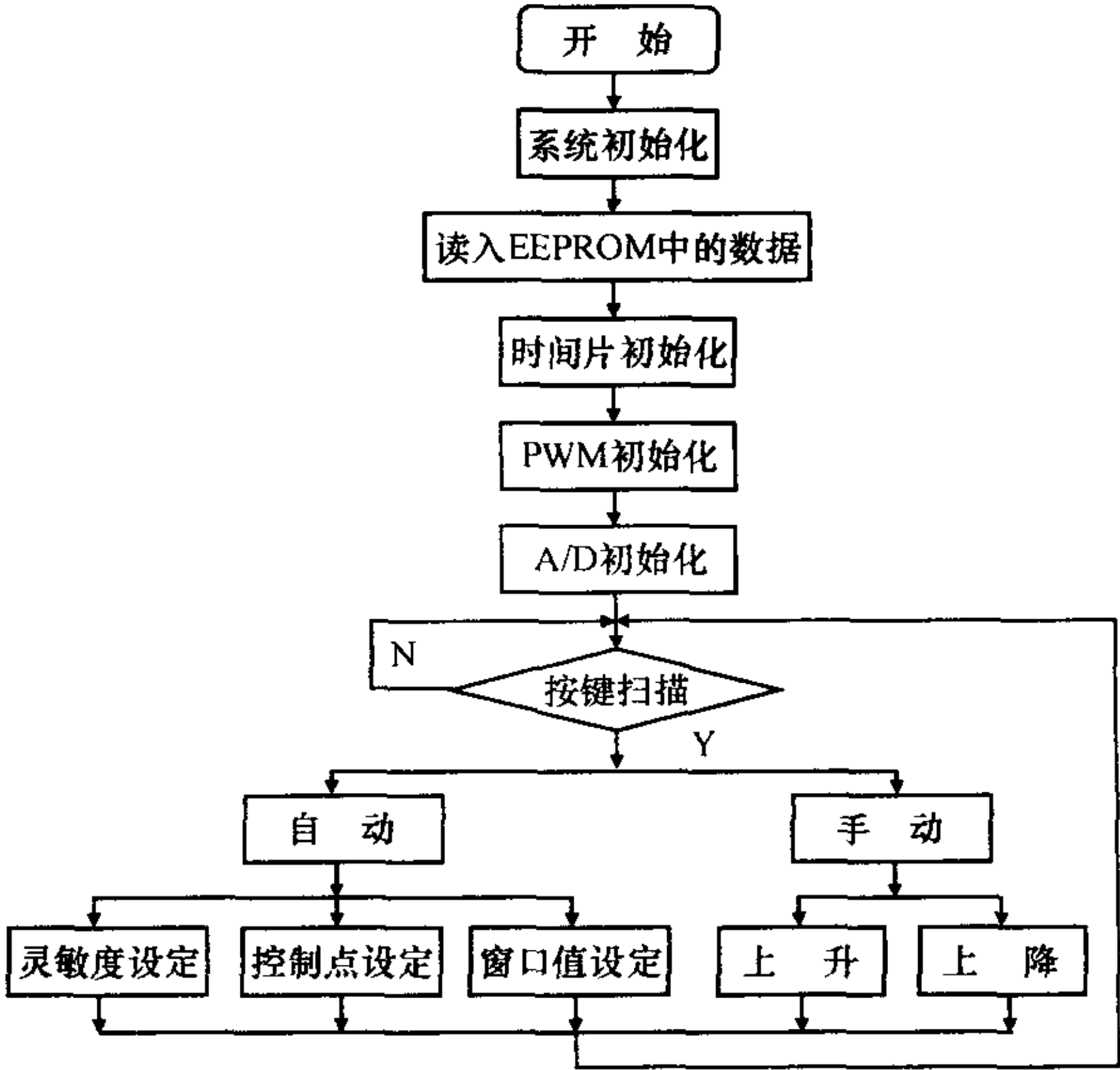


图 5 系统主程序流程图

再加上基准钢丝绳由于人为的接触以及传感器触臂的影响所带来的扰动,这 3 个方面对传感器触臂扰动的叠加导致传感器检测出来的信号必然产生一定的误差。系统在硬件设计中采用了压控低通滤波电路,在软件上对高度信号进行一阶低通滤波和均值滤波相结合的多重滤波的方法,以保证传感器信号能够准确反映路面高度的变化。

6 试 验

6.1 控制器稳定性试验

外界环境温度约为 35℃,传感器的旋转角度固定为 45°,系统连续运行 48 h,观察系统的控制器内部温度、基准电压值的变化情况(图 6、图 7)。

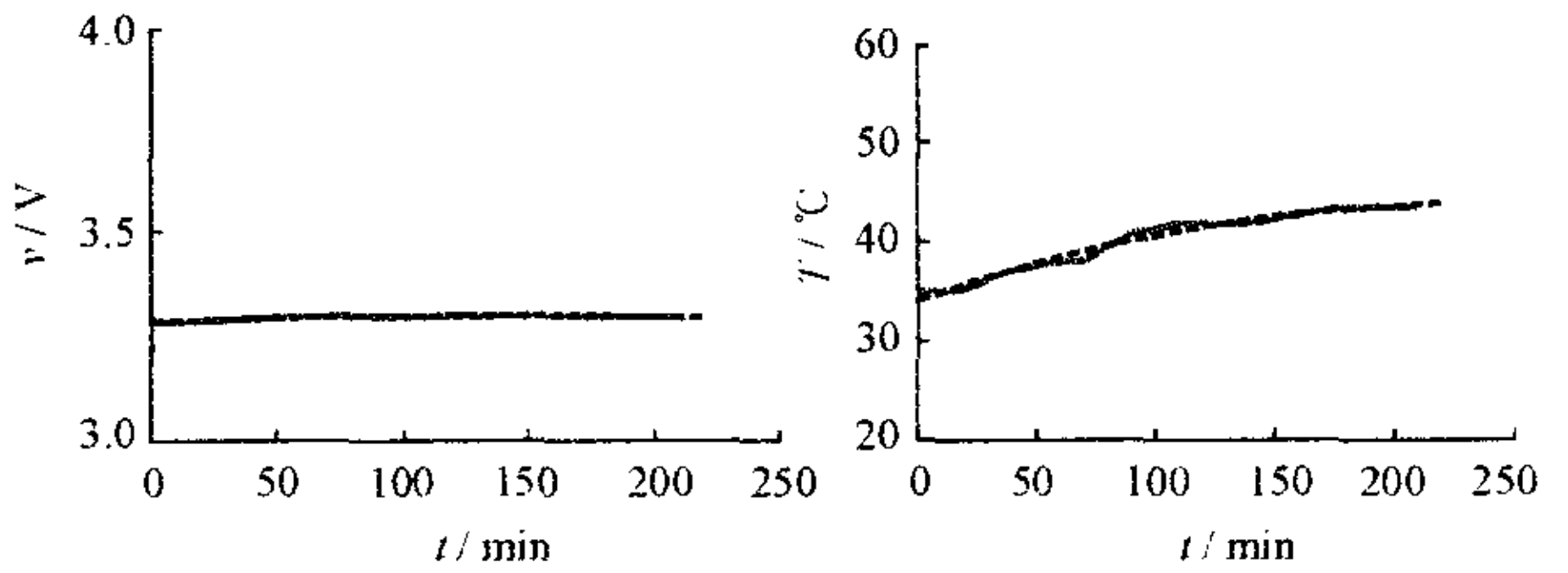


图 6 时间-A/D 基准电压曲线 图 7 时间-控制器内部温度曲线

6.2 控制器抗干扰性试验

实验目的是通过加载外部干扰,比较系统在有滤波措施和无滤波措施的情况下输入和输出的线性关系,测试系统的抗干扰性能。

将 2 个高度尺固定在振动频率为 10 Hz,垂直振幅为 1 mm 的振动台上,拉紧的钢丝绳两端固定在高度尺的滑块上,感器触臂搭在钢丝绳上。通过调节高度尺的滑块来模拟路面高度变化。比较系统在未加软硬件滤波、加了软硬件滤波和在无干扰的情况下,实际高度变化(输入 h_1)和控制器显示高

度变化(输出 h_0) 之间的线性度。试验得到 3 条曲线(图 8, 图 9, 图 10)。

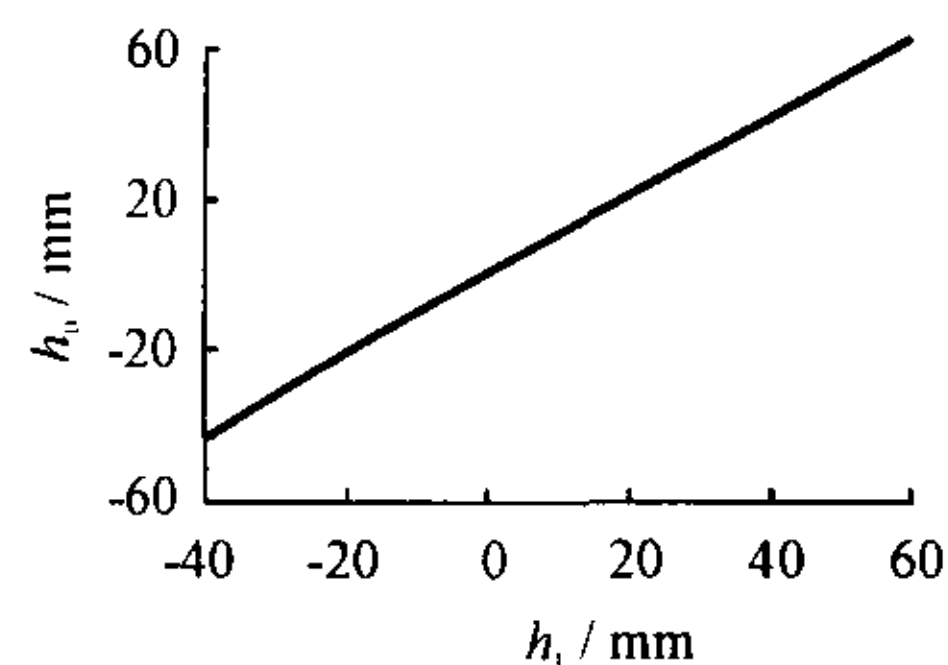


图 8 有防干扰措施下系统输入输出关系曲线

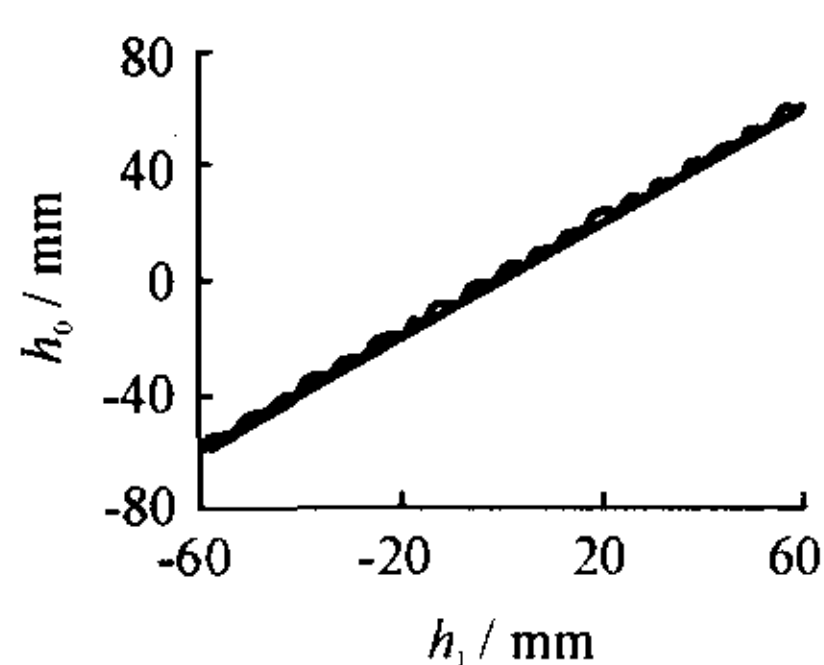


图 9 无防干扰措施下系统输入输出关系曲线

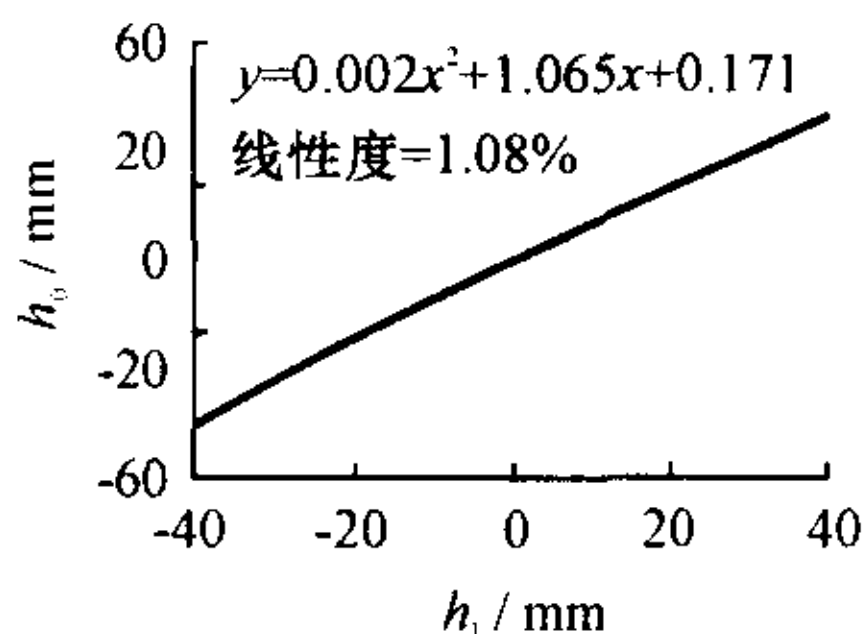


图 10 无干扰条件下系统输入输出关系曲线

通过试验得出系统在有抗干扰措施和无抗干扰措施以及在没有外界干扰的情况下系统的输入输出线性曲线(图 8, 图 9, 图 10), 根据这 3 条曲线对系统在有效控制区内进行线性度分析。系统在有抗干扰措施

的情况下, 曲线在有效控制区内线性度为 1.08%; 在无抗干扰措施的情况下, 曲线在有效控制区内线性度为 6.4%; 无外界干扰的情况下, 曲线在有效控制区内线性度为 0.9%。试验表明控制器采用的软硬件结合的多重滤波方法能有效地消除外界振动所带来的扰动对系统控制精度的影响。

7 结 语

(1) 完成了接触式自动找平控制器的设计, 实现了自动/手动切换、灵敏度设置等基本功能, 针对工程实际使用情况, 设计了“控制窗口”、“停车待料”和“数据恢复”等功能, 保证了系统的控制性能。

(2) 控制器采用电磁屏蔽、光电隔离和软硬件滤波的方法, 有效地消除干扰信号对控制器的影响。

(3) 针对系统超调的问题, 引进嵌入式操作系统中“时间片”的概念, 采用了轮换控制处理的方法, 保证了系统的精确控制。

(4) 通过室内和野外试验, 证明了该控制器性能稳定、抗干扰性能强, 各项性能指标均满足摊铺机施工要求, 控制器能在长时间下保持稳定的工作性能, 符合工业产品的要求。

参考文献:

References:

- [1] 张新荣. 沥青混凝土摊铺机熨平装置动力学模型与自动找平数字式控制器的研究[D]. 西安: 长安大学, 2003.
ZHANG Xin-rong. The study on the mangle equipment's kinetics model and the auto leveling digital controller of asphalt paver[D]. Xi'an: Chang'an University, 2003.
- [2] 张 奕, 龙水根. 摊铺机自动找平系统的参数优化[J]. 中国公路学报, 1999, 12(增刊): 138-142.
ZHANG Yi, LONG Shui-gen. Parameters optimization of automatic control system for elevation of paver [J]. China Journal of Highway and Transport, 1999, 12 (Sup.): 138-142.
- [3] 吴成富. 基于 DSP 的摊铺机自动找平控制系统研究[D]. 西安: 长安大学, 2004.
WU Cheng-fu. Auto leveling control system study for paver based on DSP[D]. Xi'an: Chang'an University, 2004.
- [4] 张雄伟, 陈 亮. DSP 集成开发与应用实例[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.
ZHANG Xiong-wei, CHENG Liang. DSP integration exploitation and application example[M]. Beijing: Electronics Industry Press, 2002.
- [5] 朱正礼, 殷承良, 张建武. 混合动力车中 CAN 总线系统的应用[J]. 交通运输工程学报, 2004, 4(3): 90-94.
ZHU Zheng-li, YIN Cheng-liang, ZHANG Jian-wu. Application of CAN bus system in hybrid electric vehicle[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2004, 4(3): 90-94.
- [6] 孙礼朋. 基于 DSP 的嵌入式工程机械控制器设计[J]. 工程机械, 2004, 35(1): 10-15.
SUN Li-peng. Design of embedded controllers in construction machinery based on DSP [J]. Construction Machinery and Equipment, 2004, 35(1): 10-15.
- [7] 闫茂德, 贺昱曜, 陈金平, 等. 嵌入式实时操作系统内核的设计与实现[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2004, 24(3): 95-99.
YAN Mao-de, HE Yu-yao, CHENG Jin-ping, et al. Design and implementation of embedded real-time OS kernel[J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2004, 24(3): 95-99.