

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.01.025

一种基于图编程的 AOI 运动控制系统设计

陈国龙¹, 钟 靖², 张正荣², 邬惠峰^{1*}

(1. 杭州电子科技大学 计算机学院, 浙江 杭州 310018; 2. 浙江欧威科技有限公司, 浙江 温州 325000)

摘要:针对当前 AOI 采用的基于 PC 机的运动控制系统,其运动控制功能固定、不可编程,且在长期使用过程中出现 PC 机死机、线程阻塞、总线竞争等问题,提出了一种基于图编程,4 层程序架构的 PCB-AOI 运动控制系统的设计。首先,介绍了该系统的软、硬件架构;然后,详细阐述了该系统的运动控制功能的图编程原理,包括通过在主 CPU 内存中设置运动参数、状态标志、运动命令来实现该系统对运动过程的控制;再重点论述了 DLL 层与梯形图层通过串口通信的来实现交互,串口通信采用主请求/从响应模式,保证了通信的安全和稳定性,梯形图层与硬件驱动层通过内存共享的来实现数据交互问题;最后,将该设计应用于 PCB-AOI 运动控制系统上。实践结果表明,该系统运动功能完善、稳定、定位精度高、可编程性强,具有较高的推广应用价值。

关键词:自动光学检测;图编程;运动控制;内存共享

中图分类号:TP311.1;TH74

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2014)01-0114-05

AOI motion control system based on graph programming

CHEN Guo-long¹, ZHONG Jing², ZHANG Zheng-rong², WU Hui-feng¹

(1. College of Computer, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China;

2. ZHEJIANG OUI Technology, Wenzhou 325000, China)

Abstract: As nowadays AOI are always using PC-based motion control systems, whose motion control function is fixed, non-programmable, in the long process with embracing PC crashing, thread blocking and other issues. Aiming at the problem, a graph-based programming, four procedural frameworks PCB-AOI motion control system design was proposed. Firstly, the system's hardware and software architecture was introduced. Secondly, the graph programming principles of motion control function was elaborated, which contained setting motion parameters, state flag, the motion command to realize the control of the motion process in the main CPU memory. And the interaction between DLL layer and the ladder layer via serial communication was discussed, which adopted the main request/response model to ensure the communication's security and stability. A sharing memory implementation was used between the ladder layer and hardware driver implementation to realize data interaction. Finally, it was applied for PCB-AOI motion control systems. The results indicate that motor function of the system stable, high precision, programmable strong and worth popularizing.

Key words: automatic optic inspection(AOI); graph programming; motion controller; memory sharing

0 引 言

PCB-AOI(automatic optic inspection)全称是自动光学检测,是基于光学原理来对焊接生产中遇到的常见缺陷进行检测的设备^[1-2]。目前,国内外该设备的运

动控制系统基本都采用基于 PC 机的运动控制系统。基于 PC 的运动控制系统采用的运动控制卡,具有控制简单、性能稳定、精密度高等优点^[3,4],但其运动控制功能固定,不可编程,若设备需要实现一些特殊的运动功能,而原先系统基本不能达到要求,只有寻求新的具

收稿日期:2013-07-01

作者简介:陈国龙(1988-),男,江西吉安人,主要从事嵌入式系统方面的研究。E-mail:chen4914@126.com

通信联系人:邬惠峰,男,副教授,博士,硕士生导师。E-mail:whf@hdu.edu.cn

有该功能的运动控制卡。其次,其容易受 PC 机操作系统稳定性及线程调度等影响,导致在运动过程中出现死机、线程阻塞等,且目前电脑 PCI 插槽越来越少,这些因素导致 PCB-AOI 急需寻找一种更好的开放式运动控制系统^[5-7]。

本研究提出一种基于图编程、4 层程序架构的 PCB-AOI 运动控制系统的设计,该设计采用内存共享技术,在引擎中嵌入梯形图,使得用户可以嵌入自己的运动算法,这种设计模块化,结构清晰,易移植,用户可以轻松实现复杂或者特定的运动控制算法和多轴同步控制^[8-9]。

控制系统硬件采用 CASS 嵌入式 PLC,该嵌入式 PLC 采用双核 ARM 芯片,性能稳定,控制简单,定位精度高,同时配有 CASS 嵌入式开发平台,方便开发^[10-11]。

1 系统硬件结构

该系统的硬件主要由控制主机、多轴运动控制器(CASS 嵌入式 PLC)、光源系统、镜面反射系统、相机系统等构成,控制系统的硬件结构如图 1 所示。

其中,多轴运动控制器采用双核 ARM、CPLD 技术,使其对电机具有优越的控制性能:①多种控制功能(逻辑控制、定时控制、计数控制、顺序控制等)、数据采集、存储与处理功能、通信联网功能、输入输出功能、在线调试功能、梯形图编程等;②可以根据运动过程和目标的需求,实现多轴的同步运动控制和插补运动控制;③能够实现全闭环运动控制,保证控制的精度;④能够及时处理运动过程中出现的异常情况。光源系统采用 LED,使用电流大小可调的恒流源驱动,保证了在不同环境下,为相机提供足够的亮度。

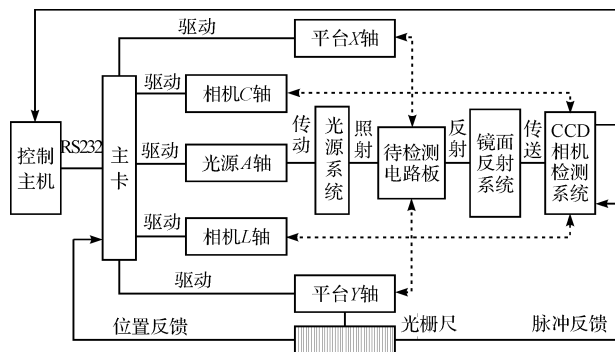


图1 控制系统的硬件结构

系统在开始扫描 PCB 电路板前,首先,对各轴进行复位,各轴回到其限位原点,相机系统进行初始化,待点击开始检测后,上位机根据电路板的厚度,光源系统,相机系统运动到预设位置,打开光源,将电路板的图像经镜面反射系统传送到 CCD 相机上,CCD 相机将

图像进行预处理后传回给主机进行分析,整个扫描流程结束。系统设计人员在平台 Y 轴方向加上光栅尺,一方面由于光栅尺的加入,与控制系统形成全闭环控制,控制系统对位置的采样点直接作用于工作平台,使得控制精度更高。另一方面,光栅尺给 CCD 相机检测系统提供脉冲反馈,相机根据该脉冲进行图像采集。

2 系统软件架构

在综合目前 AOI 运动控制系统的不足以及对现有硬件的充分了解下,本研究提出了 4 层程序架构的系统软件设计,控制系统的软件架构如图 2 所示。

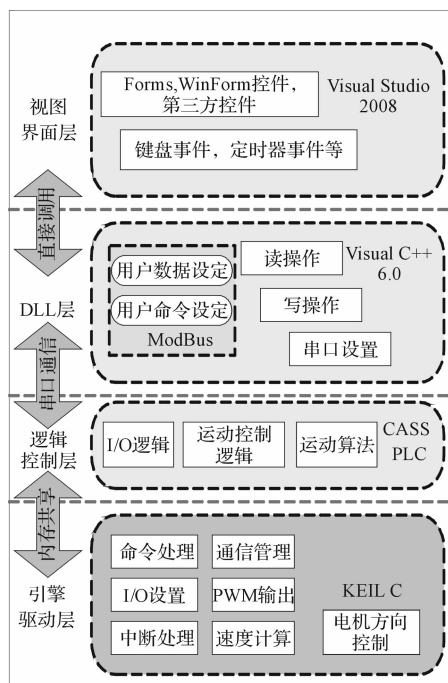


图2 控制系统的软件架构

(1)视图界面层。视图界面层为用户提供交互式操作界面,同时处理各类数据,运动方式,由用户在软件 Visual Studio 2008 上开发。本研究也开发了 Demo 软件,方便用户进行系统的运动控制测试。

(2)DLL 层为各运动函数、读写操作函数封装,在此设定了用户数据,用户命令,进行了串口设置,实现了对下位机的读写操作,用户在编写视图界面层时只需直接调用该层即可。

(3)逻辑控制层,即梯形图程序层,包含了 I/O 逻辑和运动控制逻辑,数据命令的接口封装,是实现运动控制功能的核心,由于这种多层结构将逻辑和驱动分开,使得运动逻辑和运动算法独立于硬件,保证了控制器软件开发的开放性。

(4)引擎驱动层主要实现硬件驱动、通信管理和命令处理。硬件驱动主要包括 PWM 驱动输出、I/O 驱

动、电机方向控制及电机位置信息采集的处理等。

3 图编程实现原理

本研究采用杭州电子科技大学智能与软件研究所开发的 CASS 嵌入式开发平台,根据 AOI 运动控制逻辑,用符合 IEE61131-3 标准的梯形图编程语言编写对应的梯形图程序。通过预编译器将梯形图程序编译成与目标 CPU 无关的中间代码;由代码生成器将中间代码翻译成目标 CPU 的 C 代码或汇编代码;再由编译链接程序调用该代码,编译生成对应硬件平台控制器的专用机器语言,嵌入到引擎驱动层中,构成系统运行程序。在 CASS 嵌入式 PLC 系统中,主 CPU 在其内存的全局变量区开辟一片空间 CassMem,主卡 CPU 内存分配如图 3 所示,用于存放 PLC 运行程序的软元件,根据软元件的不同,分为 M(辅助继电器)、X(输入继电器)、Y(输出继电器)、VD(数据存储器)、S(状态器)、T(定时器)、C(计数器),并用这些软元件来管理系统的内存分配。同时为了实现 PLC 对运动过程的控制,本研究还在 CassMem 中专门开辟一片区域用于存放运动控制相关的数据和命令,其中辅助继电器 M 用于存放运动控制命令和运动状态,数据寄存器 D 用于存放运动数据。CassMem 中各软元件的功能说明如表 1 所示(其中,x 代表轴号,其值为 0~6)。

表 1 运动参数内存对照表

	PLC 软元件	类型	说明
状态标志	M101x	Bit	当前正在运动标志
	M102x	Bit	停止命令标志
	M103x	Bit	点位运动指令标志
	M104x	Bit	加减速运动指令标志
运动命令	M105x	Bit	同步运动指令标志
	M106x	Bit	直线插补指令标志
	M2x	Bit	通道 x 运行指令
	...	...	...
运动参数	VD(430+2x)	Word	通道 x 的曲线加速度
	VD(444+2x)	Word	通道 x 的曲线减速度
	VD(460+4x)	Dword	通道 x 的运行速度
	VD(510+2x)	Word	通道 x 的爬行速度
	VD2247	Word	画圆的递增角度
	...	...	...

有了这些运动控制指令和数据参数的支持,用户只需将相关参数和运动轨迹或者运动算法通过梯形图逻辑描述,便可定制各类运动,这极大地保证了该设计的可编程性和开放性。图编程是该设计的核心,其与各层间的交互方法在后文将会详细阐述。同时在该系统设计中加入各类错误检测逻辑,保证在系统遇到突

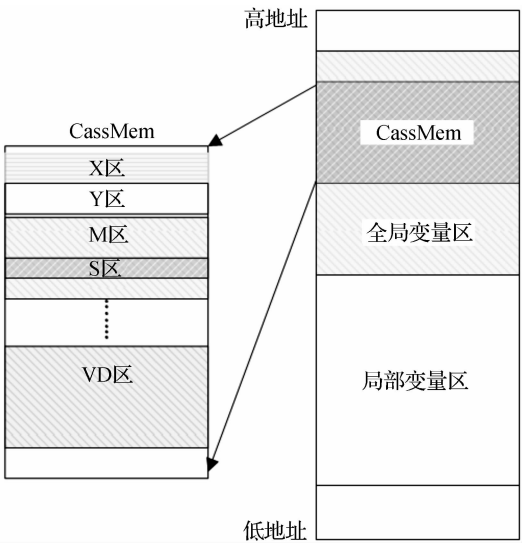


图 3 主卡 CPU 内存分配

发错误时能够及时检测,并做出相应动作,保证安全。如定点运动,上位机传递有关的控制参数(如坐标零点、起始位置、加减速速度、目标位置、运动模式、操作等),AOI 平台即完成指定的运动。电机运行的一个梯形图简例如图 4 所示。该简例展示了通过软元件编程实现的电机运行。

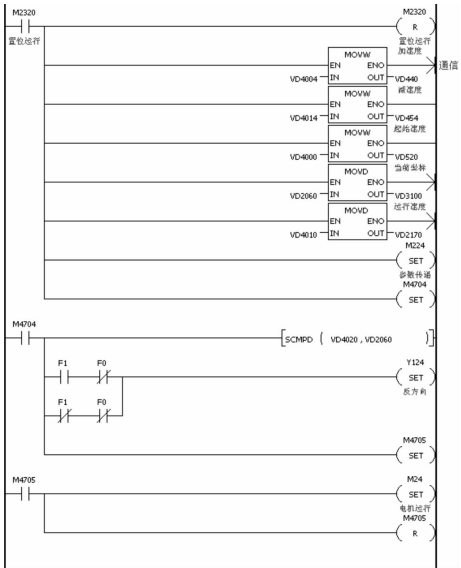


图 4 电机运行

4 DLL 层与逻辑控制层的交互

本研究利用串口通信模块使 DLL 层与逻辑控制层进行交互,即实现对梯形图层中软元件的读写。

交互的关键:①保证通信的稳定和安全性;②将梯形图中的各软元件与内存中的实际物理地址的转换。

串口通信采用主请求/从响应模式,ModBus 协议,即保证了通信的安全和稳定性,其数据帧格式如表 2、

表 3 所示。地址转换则是根据内存分配方式计算其真实物理地址。一个两层间的交互过程图如图 5 所示。在 DLL 层中先寻找可用串口,初始化板卡,若有读写操作,则进行地址转换,改变梯形图层相应数据,进而执行相应动作。

表 2 主站发送帧的格式

主站地址	功能码	数据起始地址	数据量	CRC 校验
------	-----	--------	-----	--------

表 3 从站发送帧的格式

从站地址	功能码	数据起始地址	应答数据	CRC 校验
------	-----	--------	------	--------

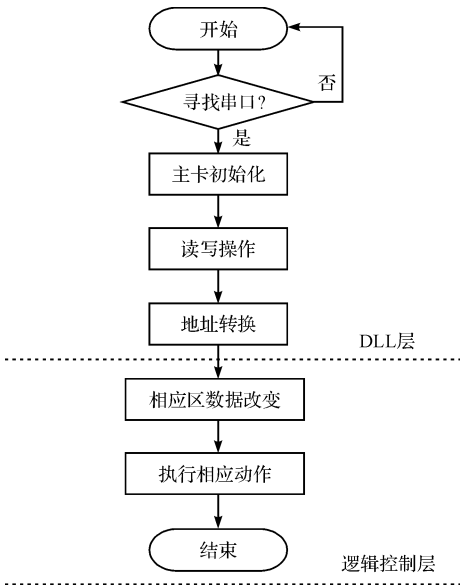


图 5 DLL 层与逻辑控制层交互的实现

5 逻辑控制层与引擎驱动层的交互

逻辑控制层和引擎驱动层是通过内存共享来进行交互的,主要体现在两层之间的执行关系和数据交互上。两层程序分别储存在主卡 CPU 的 Flash 上,其中引擎驱动由 Keil 平台编译器编译成目标二进制文件,逻辑控制层程序经过一系列编译后,生成支持硬件控制平台的专用机器语言,嵌入到引擎驱动层中,完成系统运行程序。

逻辑控制层和引擎驱动层的执行关系如图 6 所示,其中 BootLoader 程序是系统程序下载的引导程序,其工作原理为:在上位机有更新系统软件程序的请求时,BootLoader 程序首先通过串口接收待更新的程序,然后将程序写入指定的 flash 程序存储区;若上位机无更新软件程序的请求,则直接跳入主程序。

在进入主程序后,系统首先执行初始化程序,即对硬件端口初始化、参数初始化、内存空间分配等,然后

进入主循环,等待触发任务。从任务角度来看,该系统的任务主要有 3 类:梯形图扫描任务、运动控制任务和通信任务。其中,梯形图层为周期扫描任务,由定时器触发,为了保证对运动控制命令的快速响应,本研究只在中断中置起事件标志位,而不进行周期扫描,具体的周期的扫描则在主循环中进行。运动控制任务和通信任务都由事件触发,运动控制任务由梯形图扫描程序触发,当程序检测到有运动任务时,就调用相关的运动指令,执行运动输出。通信任务则为梯形图根据逻辑过程进行触发,同理为了保证数据完整性,在中断处不处理数据,仅置起事件标志,所有数据都在循环中处理。

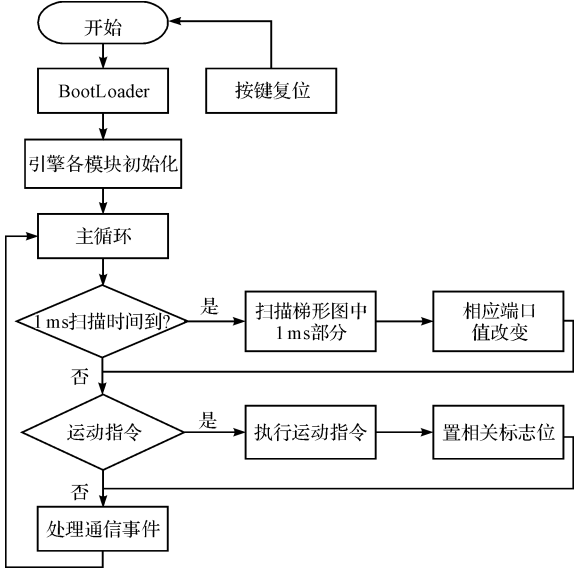


图 6 逻辑控制层与引擎驱动层的执行关系

逻辑控制层和引擎驱动层之间的数据交互则是通过内存共享,如上所述,逻辑控制层用软元件来管理内存分配,即在主卡的内存中使用一段空间作为两层之间公共数据区 CassMem,两层间数据处理都来自该公共数据区,实现内存共享。

6 系统应用

根据本研究的设计方法设计出来的基于图编程的运动控制系统 AOI 的实物图如图 7 所示。PCB-AOI 在一般情况下扫描一块 PCB 板时的运动参数及误差精度表如表 4 所示。其中扫描来回一次称为一次扫描,一块小型 PCB 板要扫描 3 次才能完成,设定伺服驱动器每旋转一圈的脉冲为 10 000,电机齿轮周长为 20 mm,即脉冲比为 500 p/mm(脉冲每毫米),从表 4 中可以看出,实际效果满足 PCB-AOI 运动精度要求,且运行稳定。



图 7 基于图编程的运动控制系统 AOI 实物图

表 4 实际扫描参数及误差精度表

扫描条数	Y轴速度/pps	X轴速度/pps	扫描时间/s	误差精度/p
扫描第一条	500 000	400 000	1.5	10
扫描第二条	500 000	400 000	1.5	8
扫描第三条	500 000	400 000	1.5	5

7 结束语

针对当前 AOI 采用的基于 PC 机的运动控制系统,其运动控制功能固定,不可编程,本研究提出了一种基于图编程,4 层程序架构的 PCB-AOI 运动控制系统的设计。该设计使得系统的开放性非常高,用户对于不同机型、不同运动方式,嵌入自己的运动算法,从而轻松达到运动需求。同时经实践证明,该系统运动控制精度高,运动功能全,实时性强,开放性高,具有很大的推广价值。

本文引用格式:

陈国龙,钟 靖,张正荣,等. 一种基于图编程的 AOI 运动控制系统设计[J]. 机电工程,2014,31(1):114-118.
CHEN Guo-long, ZHONG Jing, ZHANG Zheng-rong, et al. AOI motion control system based on graph programming[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014,31(1):114-118.

(上接第 92 页)

强,可以满足指标要求,具有实际应用前景。

参考文献 (References):

[1] 柴华伟. 某集束防空火箭炮位置伺服系统的鲁棒控制与应用研究[D]. 南京:南京理工大学能源与动力工程学院,2008.
[2] 李松晶,王清岩. 液压系统经典设计实例[M]. 北京:化学工业出版社,2012.
[3] 靳宝全. 基于模糊滑模的电液位置伺服控制系统[M]. 北京:国防工业出版社,2011.
[4] 骆再飞. 滑模变结构理论及其在交流伺服系统中的应用研究[D]. 杭州:浙江大学电气工程学院,2003.

参考文献 (References):

[1] 姚利新,张武学,连军莉. AOI 系统在 PCB 中的应用[J]. 电子工业专用设备,2004,33(5):25-27.
[2] 胡跃明,谭 颖. 自动光学检测在中国的应用现状和发展[J]. 微计算机信息,2006,22(4):143-145.
[3] 丁 宁. 基于 PCI 总线运动控制卡及 WDM 驱动程序设计[J]. 自动化技术与应用,2008,27(2):90-92.
[4] 曹 旗. 基于 PCI 总线机器人运动控制卡的研究与设计[J]. 仪器仪表用户,2007,14(6):30-31.
[5] 李春木,章明众,郑新武,等. EtherCAT 总线在伺服运动控制系统中的应用[J]. 机电工程,2011,28(11):1336-1338.
[6] 李志洲,郑民欣,王锦锦,等. 基于 EtherCAT 网络的三轴伺服控制系统设计[J]. 组合机床与自动化加工技术,2012(2):63-65,71.
[7] 卫 光,郭 坤. 三伺服枕式包装机电子凸轮控制系统的应用[J]. 包装与食品机械,2012(6):57-59.
[8] SHI Xiao-juan. The Design and Implementation of Motion Control Card based on DSP[C]// 2010 Global Conference on Digital Design and Manufacturing Technology. Hangzhou:[s. n.],2010:427-431.
[9] 彭 胜,孙志刚,肖 力. 一种基于 DSP 和 CPLD 的运动控制卡的设计[J]. 机电技术,2010,33(4):42-45.
[10] 卢冠军,严 义,赵健勇. 基于 ARM 的双 CPU 协调运动控制系统[J]. 机电工程,2012,29(8):985-988.
[11] 陆小健,李 强,丁苗江. 基于 Cortex-M3 的电动医疗床驱动与控制系统[J]. 机电工程,2012,29(8):954-957.

[编辑:李 辉]

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

[5] 吴玉香. 滑模控制理论及在移动机械臂中的应用[D]. 广州:华南理工大学自动化科学与工程学院,2006.
[6] 王立石. 模糊滑模控制在电动执行器上的应用研究[D]. 天津:天津大学电气与自动化工程学院,2005.
[7] 黄 琳. 稳定性与鲁棒性的理论基础[M]. 北京:科学出版社,2003.
[8] 刘 翔,王文海,孙优贤,等. 多变量数字鲁棒最优控制器的设计及应用[J]. 控制理论与应用,2006,23(4):552-555.
[9] 徐建省,王永骥,季海波. 鲁棒控制方法在导弹控制系统中的应用研究进展与展望[J]. 航天控制,2007,25(1):91-96.
[10] 刘金琨. 滑模变结构控制 Matlab 仿真[M]. 北京:清华大学出版社,2005.

[编辑:李 辉]