

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.10.018

基于 Cortex-M3 的 XJ128 喷头驱动控制研究^{*}

蔡锦达, 郭振云

(上海理工大学 机械工程学院, 上海 200093)

摘要:为了解决喷印行业中独立的喷头控制模块所带来的控制环境及成本问题,将喷印技术应用于对控制环境要求比较高的医疗等行业中。对 Cortex-M3 系列微处理器的性能及价格进行了调查总结,对 XJ128 喷头的电气管脚及数据传输要求作了简要分析,设计了一种基于 ARM Cortex-M3 的内核单片机的 XJ128 喷头的驱动控制系统,该系统通过 ARM Cortex-M3 LPC1752 开发板直接驱动喷头动作。研究与试验结果表明,该程序符合 XJ128 喷头的控制要求,能控制喷头按照要求驱动相应的喷嘴进行喷液,并且能长时间、快速进行喷液,具有很高的稳定性。

关键词:XJ128 喷头;驱动程序;Cortex-M3

中图分类号:TP311;TH39

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2015)10-1357-05

Drive system for XJ128 nozzle based on Cortex-M3

CAI Jin-da, GUO Zhen-yun

(School of Mechanical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology Shanghai, Shanghai 200093, China)

Abstract: In order to solve the problem of control environment and cost caused by the extra nozzle control module in the spray printing industry, the spray printing technology was applied to the other industries such as medical which has higher requirements for the control environment. After the investigation and summary of the properties and prices of Cortex-M3 series microprocessor, and after a brief analysis of the pin and data transmission of XJ128 nozzle, a XJ128 nozzle's drive system based on ARM Cortex-M3 core was designed, the XJ128 nozzle was drove directly by ARM Cortex-M3 LPC1752 Development Board. The results of research and experiments indicate that the control system can meet the requirement of the XJ128 nozzle, and the system not only can drive the nozzle to eject on demand but also have a high stability at a high speed during a long time.

Key words: XJ128 nozzle; drive system; Cortex-M3

0 引 言

喷墨技术能在衬底上逐渐沉积具有不同化学和物理性质的材料,这使其成为工业和家庭使用的一项重要技术^[1]。由于喷墨技术具有操作简单、成本低等优点,它已广泛应用于太阳能电池板、平板显示器中电子电路板砂、低成本的金属涂层等多个行业的制造过程中。基于喷墨打印机机械原型的应用程序在医学领域已经用于打印 DNA 结构,使人造皮肤喷射细胞^[2]。

目前市场对于高质量、快速并且更节省能源的专业喷头及控制的需求更激烈^[3],因此,研究各种喷头的控制程序具有重要意义。

目前国内大多数喷码机不仅依赖于价格高昂的进口产品,而且它们大多数采用分离的喷头控制器,具有体积大、操作繁琐等缺点,完全没有发挥微处理器和内嵌操作系统结合产品的操作简便、远程传输、接口丰富的优点^[4]。例如文献[5]采用多个的嵌入式 RIP 处理卡来单独控制每一喷头,文献[6]分别采用单独的运

收稿日期:2015-04-02

基金项目:上海市科学技术委员会科研计划资助项目(14440502600)

作者简介:蔡锦达(1963-),男,上海人,副教授,硕士生导师,主要从嵌入式系统开发和医疗器械研发方面的研究. E-mail: cjd6309@126.com

动控制板和数据传输板及独立的喷头控制板实现喷墨控制,这些系统的布线都比较复杂,因此喷头一般不能移动,否则会使控制台混乱并在拖行过程中引起较大的机械振动,不能满足医疗等行业对控制台微振动要求。而且每增加一个喷头都需要增加相应的模块,这不仅使线路更加复杂,而且提高了生产成本。

因此本研究在文献[7]的研究的基础上设计基于Cortex-M3 处理器对 XARR 公司生产的 XJ128 喷头的控制系统,该系统中间无需复杂的控制卡,不仅布线比较少,成本也比较低,而且通过实验可发现该控制系统也能快速控制喷头进行喷液。

1 硬件系统的组成

1.1 微处理器的选择

Cortex-M3 处理器是 ARM 公司设计的最新一款 32 位处理器系列,目的是全面替代目前的 8/16 位单片机^[8]。据调查,其有望成为 32 位 MCU 中 8051^[9]。在指令方式方面,Cortex-M3 采用 thumb-2 技术并兼容显存的 ARM 解决方案,这比纯 ARM 代码少使用 31% 的内存,同时能提供比 thumb 技术高 38% 的性能^[10];在中断方面,Cortex-M3 的嵌套向量中断控制器提供了工业领先的中断处理性能,控制器不仅可以控制多达 255 个中断,而且它用简单的 6 个周期的取指取代了传统的串行堆栈需要超过 30 个时钟周期的 push-pop 操作才能完成的动作,使从中断发生到进入服务减少 70% 的周期数^[11];在价格方面,目前最便宜的基于 Cortex-M3 内核的单片机售价为 1 美元^[12],由此可见 Cortex-M3 适用于高性能、低功耗、实时应用及具有竞争性价格于一体的嵌入式领域^[13]。

LPC1752 是基于 Cortex-M3 内核的微控制器,其 CPU 操作频率可高达 100 MHz,外设包含一个高达 64 K 的 Flash 存储器和 16 K 的数据存储器,可以实现高速、高效的喷头数据传输及控制;其次,LPC1752 还有一个外部中断输入,可以快速读取喷头的状态;最后,LPC1752 上有 42 个管脚可以配置为边沿检测中断,这有利于提高程序的实时性,使对时间敏感的程序可以在规定时间内完成。因此,LPC1752 是首选的控制 XJ128 喷头的微控制器。

1.2 喷头的介绍

XJ128 喷头^[14-15] 包含有 128 个由压电晶体材料构成的通道驱动器,内置油墨过滤器及驱动控制电路,整体安装在一金属块骨架上。喷头上有 128 个喷嘴,每个喷嘴都是以“二态”方式运作,因而可以按需喷射单

一大小的墨点。其电气接口共有 30 个引脚,但是其中有 10 个是没有连接的保留接口,9 个为电源和接地引脚,其他 11 个引脚为信号引脚。其主要功能引脚如表 1 所示。

表 1 XJ128 喷头的主要引脚

插脚	信号名称	插脚类型	功能
1	nSS2	输入	MOSI/MISO 芯片选取-芯片 2
2	nFAULT	输出	高温误差信号
3	nRESET	输入	驱动芯片逻辑复位
4	MOSI	输入	串口数据输入选取
5	SCK	输入	数据运作时钟-“闪发数据”
6	nSS1	输入	MOSI/MISO 芯片选取-芯片 1
7	READY	输出	“准备就位”时序信号
8	PHO	输入	相位序列信号
9	nFIRE	输入	点火触发信号
10	MISO	输出	串口数据输出选取
11	CLK	输入	系统定律时钟-“数据运作时钟”

XJ128 喷头的内部有两个 64 位的数据移位寄存器,当准备就位 (READY) 信号变为低电平时,分别选中片选信号 nSS1 和 nSS2 后,利用数据时钟 (SCK) 的上升沿时刻,MOSI 将 64 位数据有序地装载进入相应的移位暂存器。数据装载完毕后准备就位 (READY) 信号跳到非活跃状态,数据就可以转载进入移位暂存器。在此时刻,喷头就可使用这组数据控制喷头。然后触发点火 (nFIRE) 信号按照设定数据启动“点火”射出所加载的液体。

由于移位暂存器拥有双缓冲个体,系统允许喷头在喷液进行的同时装载下一组数据。当喷头开始打印最后一个相位的数据时,准备就位 (READY) 信号就会转跳到停顿状态,喷头就可以加载下一组数据。其装载时序如图 1 所示。

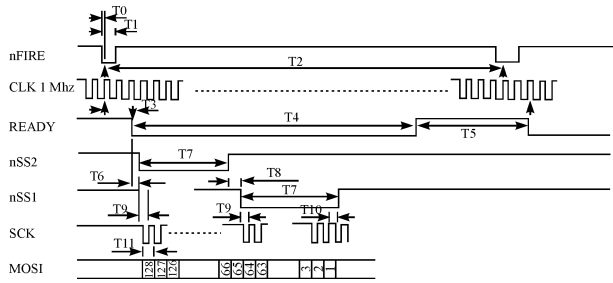


图 1 XJ128 喷头的控制时序

2 喷头控制程序设计

2.1 喷头点火程序的设定

由图 1 可以看出复位 (nRESET) 信号和点火 (nFIRE) 信号都有各自要求的频宽,因此可以通过在调用延时子程序时改变函数参数来实现。Cortex-M3 的系统时

钟频率为 24 MHz,而复位(nRESET)信号的最小频宽为 500 ns,点火(nFIRE)信号的频宽为 1 μs ~ 120 μs,而且点火(nFIRE)信号必须在准备就位(READY)信号被激活的状态才有效,而传输过程中准备就位(READY)信号的活跃脉宽的标准值为 58 μs,因此延时函数不应设定过长。

2.2 基于边沿中断的喷印数据传输

XJ128 喷头的 MOSI 引脚内的移位暂存器是 64 位的,而 Cortex-M3 上 SPI 每次最多只能发 16,因此系统需要发送 4 次才能完成对一个芯片的数据装载,为了方便数据的传输,本研究把预先设定的数据存放在数组中,这样后面使用就比较方便。其次 XJ128 芯片的喷头由两个 64 位的移位暂存器分别控制前 64 位和后 64 位,只有两个芯片全都装载完数据后准备就位(READY)信号才会变成活跃状态,之后点火(nFIRE)信号才能控制喷头进行喷射。

数据传输的程序既可以在查询中完成,也可以在中断中完成。由于中断不仅可以提高 CPU 的工作效率,还具有实时处理的功能,能对控制系统中的各种参数和状态做出快速响应、及时处理^[16],本研究选择中断处理的方式。而目前可有两个中断入口:一个是 Cortex-M3 上 SPI 的数据传输完成中断,由图 1 可以看出只有在准备就位(READY)信号处于低电平的情况下才能激活片选(nss(x))信号,故另外一个中断入口是准备就位(READY)信号的边沿中断。数据传输完成后 SPI 的传输完成标志位会立即复位,而准备就位(READY)信号则在 XJ128 喷头接收完数据后还需执行两相喷射才能被激活。也就是说准备就位(READY)信号的激活等待时间要比 SPI 复位的等待时间长,即准备就位(READY)信号才是最终决定是否传输下一组数据。因此本研究选择准备就位(READY)信号的下降沿做为中断入口。

数据传输完成后还要控制点火(nFIRE)信号才能真正完成喷头喷射过程,而点火(nFIRE)信号只有在准备就位(READY)信号激活时才有效,那么要执行点火(nFIRE)信号,那么首先要判断准备就位(READY)信号的状态。由于系统选择以准备就位(READY)信号下降沿中断的方式实现数据从 Cortex-M3 到喷头的 2 个 64 位移位暂存器的传输,那么使用查询的方式判断再次准备就位(READY)信号的状态就显得太冗余复杂了,最好也采用中断的方式判断准备就位(READY)信号的状态。

Cortex-M3 有独立的上升沿中断寄存器和下降沿中断寄存器,因此 GPIO 中 PORT0 和 PORT2 端口的每

一个引脚都可以配置并触发上升沿中断、下降沿中断或者边沿中断(同时设定上升沿中断和下降沿中断),这样正好可以满足以双中断的方式控制喷头的要求。以准备就位(READY)信号所接的引脚 P0.2 为例,上升沿中断使能寄存器(IO0IntEnR)可以使能 P0.2 管脚的上升沿中断,下降沿中断使能寄存器(IO0IntEnF)可以使能 P0.2 管脚下降沿中断。

IO0IntEnR[2] = 1 时,P0.2 上升沿中断使能;
IO0IntEnR[2] = 0 时,P0.2 上升沿中断禁能;
IO0IntEnF[2] = 1 时,P0.2 下降沿中断使能;
IO0IntEnF[2] = 0 时,P0.2 下降沿中断禁能。

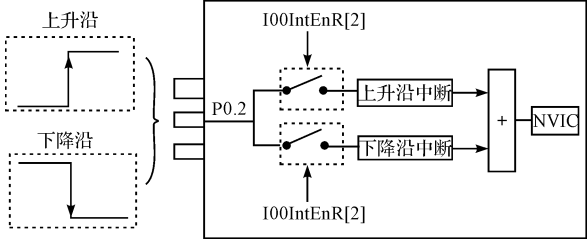


图 2 GPIO 边沿中断示意图

中断内的数据传输如图 3 所示。其中 P[n] 为控制喷头中每个喷嘴的数值,该数组可以设的很大,以实现 XJ128 喷头的连续喷射,但是 n 必须为 8 的整数倍,这是由喷头的移位暂存器和 Cortex-M3 上 SPI 的性质决定的。i 表示每次装载数据 P[n] 中的第 i 个数据,j 表示装载的次数,Flag 为标志位。

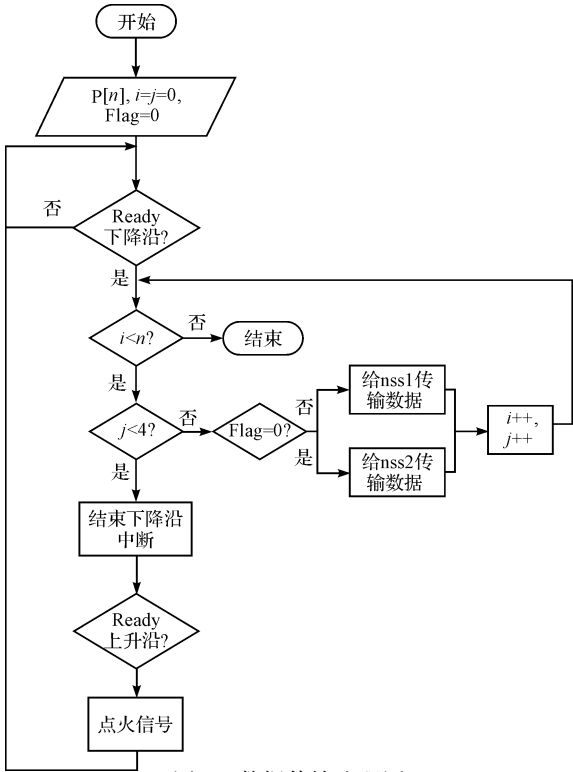


图 3 数据传输流程图

2.3 高温报警及复位信号

XJ128 喷头有一个低电平触发的高温误差(nFAULT)信号,当喷头的温度高于临界值 $45\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 55\text{ }^{\circ}\text{C}$,高温误差(nFAULT)信号就会被激活,而且该信号是不能被更改的,只有当喷头温度降低到临界温度以后报警信号才能被解除。因为应用过程中要求喷头精确的运动,必须设定报警信号中断,且中断等级比准备就位(READY)信号的中断等级要高,这样才可以在准备就位(READY)信号的中断运行时进入高温中断,实现高温报警信号的启动,然后再中断内通过逻辑复位信号对芯片进行逻辑程序异步复位,该复位只是让喷头停止工作,但是并不会将数据输入暂存器内部的数据重组,因此,只需等到温度降低后再通过点火(nFIRE)信号即可让喷头继续工作,并不需要重新加载数据输入暂存器的值。

由于要区别准备就位(READY)信号和高温误差(nFAULT)信号的优先级,两者不能同时使用 I/O 口中断。系统可以设置(nFAULT)信号所对应的引脚为外部中断 EINT0(Cortex-M3 上外部中断和 I/O 口中断分别使用两个不同的中断通道,可以设置不同的优先级)的边沿中断,同时设定上升沿中断和下降沿中断,并且两者的中断优先级要比 SPI 接口中断的优先级高,这样就可以在下降沿中断内通过置位片选(nSS(x))信号和停止数据时钟(SCK)信号来停止 Cortex-M3 对喷头的数据传输,避免喷头已储存在暂存器内的数据清除,从而保证喷头严格按照设定的步骤工作;在高温误差(nFAULT)信号上升沿中断内复位片选(nss(x))信号和数据时钟(SCK)信号使喷头重新开始工作。

3 程序测试结果及分析

根据上述实验设计,本研究编写了基于 Cortex-M3 的喷头的驱动程序,在该程序中,喷头的高温误差(nFault)信号连接开发板的外部中断 EINT0,准备就绪信号 READY 连接 GPIO 口中断,其余各口连接在普通 IO 口上,并按照相应的要求设定为输入或者输出。通过示波器测量可得部分波形图如图 4、图 5 所示。

由图 4 和图 5 可知,当准备就位信号(READY)为低时,nSS2 会先变为低电平,即选中 nSS2 进行数据传输,等待数据传输完成后 nSS2 会跳变成高电平,然后 nSS1 变为低电平进行数据传输,最后等待点火(nFIRE)信号,然后再进行下一轮的控制。同样,经过测量,其他各个变量电平的变化也都满足喷头的驱动要求。通过实验可以看出,该程序可以按照设定要

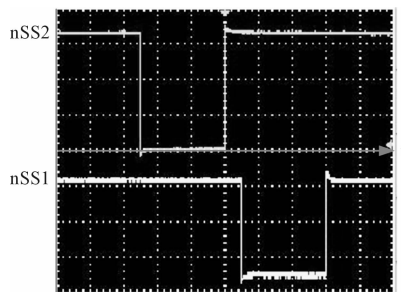


图 4 nSS2 与 nSS1 的波形图

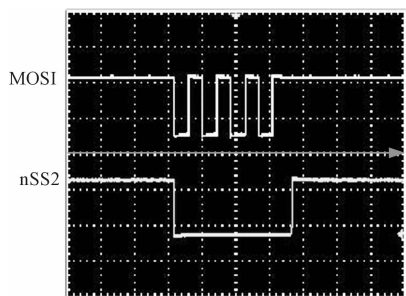


图 5 MOSI 与 nSS2 的波形图

求控制 XJ128 喷头相应的喷孔进行喷液。

4 结束语

本研究简要介绍了 Cortex-M3 的优点和 XJ128 喷头的接口及控制要求,重要研究了喷头控制程序的设计,提出了基于中断的驱动控制思路,最后通过示波器及喷头控制实验对所编写的控制程序进行了验证,证明该程序可以高效地控制喷头的各个喷嘴。

本研究采用嵌入式微处理器控制直接对喷头进行,既实现了嵌入式微处理器的最大化利用,又节省了成本。此外,Cortex-M3 上有多达 52 个管脚,其中 42 个可以配置中断,不仅可以实现对多个喷头高效的控制,还能实现对其他设备的控制,实现基于嵌入式微处理器的一体化控制。

参考文献(References):

- [1] KHALATE A A, BOMBOIS X, BABUSKA, et al. Performance improvement of a drop-on-demand inkjet printhead using an optimization-based feedforward control method[J]. *Control Engineering Practice*, 2011(19): 771-781.
- [2] WILLIAMS C. Ink-jet printers go beyond paper[J]. *Physics World*, 2006(19): 24-29.
- [3] EZZELDIN M, BOSCH P. P. J V D, WEILAND S. Experimental-based feedforward control for a DoD inkjet printhead[J]. *Control Engineering Practice*, 2013, 21(7): 940-952.
- [4] 王宏文,董苗,梁彦彦. XJ128 喷头在 WinCE 下驱动程序的设计与实现[J]. *计算机测量与控制*, 2014, 22(2):

620-623.

[5] 张秋凤,刘 晋. 基于计算机平台的多喷头喷绘机控制系统的设计与实现[J]. 微型机与应用,2010,29(24):93-95.

[6] 严彬彬. 基于 FPGA 的喷墨印刷系统高速接口的设计与实现[D]. 北京:北京印刷学院信息工程学院,2013.

[7] 王宏文,黄金兰,董 苗. 流水线上嵌入式喷码机系统设计[J]. 现代电子技术,2014,37(9):107-110.

[8] 江一舟,张怡聪,李 斌. Cortex-M3 单片机在工业仪表中的应用[J]. 仪表技术,2010(6):24-26.

[9] 何小庆. 关注 MCU 发展的新动向[J]. 电子产品世界,2008(12):60-62.

[10] 李 宁,熊 刚,徐良平. 基于 Cortex-M3 的 MP3 播放器设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2009(2):48-51.

本文引用格式:

蔡锦达,郭振云. 基于 Cortex-M3 的 XJ128 喷头驱动控制研究[J]. 机电工程,2015,32(10):1357-1361.

CAI Jin-da, GUO Zhen-yun. Drive system for XJ128 nozzle based on Cortex-M3[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2015,32(10):1357-1361.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

(上接第 1343 页)

表 2 风扇表面声功率参数表

叶片数量	41 片	40 片	39 片	38 片	37 片
转速/ $r \cdot \min^{-1}$	3 900	3 900	3 900	3 900	3 900
流量/ $g \cdot s$	363.5	360	356	362.4	372
风扇噪声/dB	109.5	107.4	105.9	105.1	104.3

4 结束语

本研究通过对某型号汽车空调噪声与振动信号的测试和分析,找出空调壳体振动剧烈、内循环模式下噪声突出等问题,提出具体的优化改进建议,同时利用 ANSYS 分析软件对优化设计过程具体实施。通过对汽车空调整机模态分析及优化、整机隔振系统校核分析、流场 CFD 分析及优化设计,能够有效地降低关键部件的应力集中,减少空调的振动传递给车身,降低进气口处的紊流噪声。

相关汽车空调生产企业依据分析优化结果对该型号汽车空调产品进行了技术改造,使产品品质得到了显著改善。进而证明了该优化设计方法对有效提高汽车空调性能的可行性,同时对类似汽车空调产品的改进研制具有很好的借鉴意义。

参考文献 (References):

[1] 康家勇. 汽车空调 HVAC 总成噪声测试方法及异音分析[J]. 汽车电器,2013(6):62-64.

[11] 文先仕. 基于 ARM Cortex-M3 的智能监控器的设计[D]. 成都:西华大学机械能与自动化学院,2010.

[12] 周立功. 深入浅出 Cortex-M3[M]. 广州:广州致远电子有限公司,2009.

[13] 张 旭,元学广,李世光,等. 基于 STM32 电力数据采集系统的设计[J]. 电子测量技术,2010,33(11):90-93.

[14] XJ128 Guide to Operation[EB/OL]. <http://www.xaar.co.uk/>.

[15] 程 爽,马 海,刘祥谋,等. 三维打印机中 XJ-128 喷头驱动控制设计[J]. 机电工程技术,2013,42(1):41-44.

[16] 杨文显. 现代微型计算机与接口教程[M]. 北京:清华大学出版社. 2014.

[编辑:洪炜娜]

[2] 莫 涛. 浅谈汽车空调系统研究现状及发展趋势[J]. 科技资讯,2013(10):113-114.

[3] 唐任仲,唐文东,金 伶. 面向生产过程质量控制的汽车空调热交换器散热性能检测装置研究及应用[J]. 机电工程,2012,29(7):745-749.

[4] 黄锁成,靳晓雄,张立军. 汽车空调用压缩机的振动和噪声分析[J]. 汽车技术,2003(5):20-22.

[5] 宣海军,苏 荣,江腾飞. 汽车仪表板横梁系统固有振动性研究[J]. 机械,2014(4):43-47,55.

[6] 肖 鑫,王天英,潘乐燕. 除霜风道内部流场的 CFD 模拟分析及优化改进[J]. 制冷与空调,2010(3):14-15.

[7] 王小纯,占细峰. 基于 CFD 的搅拌反应罐内部流场的数值模拟[J]. 轻工机械,2013,31(1):9-14.

[8] 张 宏,郑 彪,张 楠,等. 基于 CFD 技术的新型液气缓冲器流场计算分析与试验研究[J]. 液压气动与密封,2014(12):32-38.

[9] 陶其铭,许志宝,夏广飞. 汽车空调除霜风道分析及结构优化[J]. 合肥工业大学学报:自然科学版,2010,33(4):498-500.

[10] MOUREH J, LETANG G, PALVADEAU B, et al. Numerical and experimental investigations on the use of mistflow process in refrigerated display cabinets[J]. **International Journal of Refrigeration**, 2009,32(2):203-219.

[11] 商红云,章承林,裴 泱. 有限元基础理论与 ANSYS14.0 应用[M]. 北京:机械工业出版社,2014.

[编辑:洪炜娜]