

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.04.011

连续灰度微滴喷射控制系统的研制*

卢凌锋, 占红武, 胥 芳*

(浙江工业大学 特种装备制造与先进加工技术教育部/浙江省重点实验室, 浙江 杭州 310014)

摘要: 针对灰度微滴喷射技术中传输数据量大和传输数据不匹配的问题,对灰度微滴喷射的技术特点进行了分析,对灰度微滴喷射技术的控制方法进行了归纳,提出了一种基于 ARM+FPGA 系统架构和双口 RAM 乒乓操作技术的灰度微滴喷射控制系统,采用 Modelsim 软件对 FPGA 内部模块进行了时序仿真,利用搭建的灰度微滴喷射实验平台对灰度色阶和边缘锯齿进行了测试。实验结果表明,该系统能够实现最大幅面为 280 mm 且具有 8 个灰度等级的微滴喷射,打印的图像边缘锐利清晰无明显锯齿。

关键词: 连续灰度; 微滴喷射; 控制系统

中图分类号: TP24; TH137.5 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2015)04-0493-04

Jetting control system of continuous gray micro-droplet

LU Ling-feng, ZHAN Hong-wu, XU Fang

(Key Laboratory of E&M, Ministry of Education & Zhejiang Province, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Aiming at the problems of big data to process and transmission rate mismatch in gray micro-droplet jetting technology, after the analyse of the characteristics and control method of grayscale micro-droplet jetting technology, a gray micro-droplet jetting control system base on ARM and FPGA architecture and dual port RAM ping-pang operating technology was presented. The timing simulation of FPGA internal module was established based on Modelsim software. The gray levels and edages swatooth were tested on the gray micro-droplet jetting experiment platform. The results indicate that the system can achieve the maximum width of 280 mm and 8 grayscale micro-droplet jetting and the printed image edges are sharp and clear with no obvious swatooth.

Key words: continuous grayscale; micro-droplet jetting; control system

0 引 言

微液滴喷射是一种通过产生微米级的液滴实现微量流体精确分配的技术之一^[1],是一种非接触式的直写式制作技术^[2]。喷墨打印机就是基于微滴喷射开发的一种非击打式点阵印刷技术^[3],人们常称这一技术为“喷墨”技术。微滴喷射技术起源于喷墨打印技术,应用领域已经从传统的喷墨印刷领域扩展到微电子和微系统封装^[4]、微透镜制作^[5]、三维打印、有机半导体器件制作、微机电系统(micro electro mechanical

system, MEMS)、生物制造工程以及化学分析等领域。通过应用灰度微滴喷射即可变体积微滴喷射技术,在同一个喷孔里,可以按照需要喷出不同大小的液滴。在数字印刷领域,灰度微滴喷射技术使图片层次丰富,深浅过渡自然。在微电子封装领域,灰度微滴喷射技术能够灵活控制喷射焊球微滴的尺寸,满足不同类型封焊接的需求。在国内已经有许多学者对这一领域做出了相关的研究。台湾成功大学的单子睿^[6]建立了压电微滴喷射控制系统,研究驱动电压与可变体积之间的关系,该系统能够很好地控制产生微滴的体积,但是由于运用的喷头为单喷嘴,无法满足宽幅面

收稿日期: 2014-11-28

基金项目: 浙江省特种机电装备与加工技术科技创新团队支持项目(2011R50011)

作者简介: 卢凌锋(1990-),男,浙江丽水人,主要从事数字印刷和微滴喷射方面的研究。E-mail: llfsunshine@126.com

通信联系人: 胥 芳,女,教授,博士生导师。E-mail: fangx@zjut.edu.cn

打印的需求。湖南大学的方耀湘^[7]设计了基于FPGA的高解析喷码控制系统,该系统能稳定,清晰地喷绘条形码,由于所采用的喷头是二态喷头,喷出的墨滴体积无法调整。

本研究阐述灰度微滴喷射技术的原理和控制方法,研制一种连续灰度微滴喷射控制系统,该系统采用ARM+FPGA的架构,通过乒乓操作两块双口RAM构建大容量数据缓存区的方法以解决CPU分时复用和打印头实时喷射的矛盾,实验证明该系统能实现8个灰度等级的灰度微滴喷射。

1 灰度微滴喷射技术

1.1 可变微滴喷射技术

喷墨打印技术分为二态打印和灰度打印^[8]。灰度打印技术(可变体积喷墨打印技术)是在传统打印(二态打印)基础上发展的一种提高图像质量的技术^[9]。在二态打印模式下,当需要打印浅色的区域时,能够通过减少打印点的密集度(dpi)来实现。对于灰度打印,可以通过改变喷射墨滴尺寸,喷射出更加细小的点来实现,这样保证了图像像素(dpi)不变。

目前主流的灰度喷头主要有日本精工公司的SPT508GS喷头、美国北极星公司的PolarisPQ-512/85AAA喷头、英国赛尔公司的XAAR1001喷头等。XAAR1001是英国赛尔公司2007推出的最为先进的高喷嘴密度喷头。其独特的可变墨滴技术使XAAR1001可以实现6 pl至墨滴的多脉冲喷射,墨滴大小从6 pl~42 pl之间构造了8个灰度级。该喷头使用双V型技术(Chevron Technology)与传统的共享壁喷头相比具有更高的效率和更好的墨滴成型统一性。此外,XAAR1001采用独特的循环模式技术,使喷头具有一定的自我修复能力,提高喷射可靠性,显著下降了维修率。

1.2 灰度微滴喷射控制方法

灰度打印要求喷头能够产生可变尺寸的墨滴,通过墨滴尺寸大小、墨量的多少来控制灰度级。常用的灰度打印是基于多重脉冲驱动技术,墨水受多重脉冲电压驱动时,压电元件发生快速连续的形变,从喷嘴喷射一系列墨滴。灰度打印的示意图如图1所示。由于相邻墨滴的喷射间隔短,且受空气阻力作用,最新喷出的墨滴和先于它从喷嘴板分离出来的墨滴合并,形成更大体积的墨滴。对灰度微滴喷射灰度级控制的关键在于喷射墨滴成型的均衡性。只有在保持每个墨滴良好形态和体积的前提下,合并墨滴体积才能近似于每个小墨滴的线性叠加,得到准确的灰度级图像。

对于灰度打印,因为需要产生不同的灰度等级,

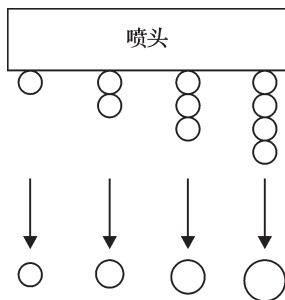


图1 灰度打印示意图

在控制系统上相比于二态打印控制系统要更加复杂。首先,相比于二态打印只有0和1两种状态,灰度打印需要更宽的数据位去描述一个墨滴的灰度信息。对于本身就需要处理大量数据的喷墨打印系统,灰度打印要求控制系统有足够的处理能力去处理和传输更加庞大的数据,这对CPU的处理能力和控制系统数据通道都提出更高的要求。其次,对于灰度打印,其印前处理更加复杂,需要更加优秀的RIP(光栅图像处理)算法,才能得到质量好的灰度图像。

2 XAAR1001 连续喷射控制系统

2.1 系统技术指标

控制系统采用XAAR1001喷头,主要技术指标如下:

- (1)喷射系统要求具有8个灰度等级;
- (2)系统最大幅面宽度能达到280 mm。

2.2 系统架构

系统架构框图如图2所示。控制系统采用以ARM9为主处理器,FPGA为协处理器的架构,其中采用的ARM9处理器为ATMEL公司的AT91SAM9260,主频为200 MHz。对喷射控制系统必须要考虑从ARM到喷头阵列传输速度匹配的问题。系统最大幅面宽度为280 mm,单个XAAR1001喷头宽度为70.5 mm,最高点火频率为6 kHz,因此整个系统需要4个喷头。当4个喷头同时工作在最高点火频率下,数据率为50 Mb/s。控制系统中只有一个主处理器,同一时间只能执行一个任务,为了实现多任务操作,只能通过时间片轮转调度的方法^[10-11]。ARM在处理数据或者执行其他跟传输数据不相关的任务时,ARM到喷头之

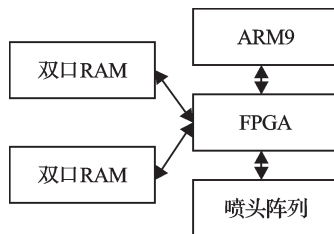


图2 系统架构框图

间的输出传输速度为零。ARM只执行传输数据任务的时候,因为CPU主频为200 MHz,数据率为50 Mbit/s,传输数据的速度可以远大于喷头所需的数据速度。为了解决这个矛盾,需要在数据通道中建立一个缓冲存储区来有效的解决前后级数据传输速度不一致。考虑到喷头的接口时序有一定的特殊性,同时还要兼顾系统的运动控制,因此本研究选用FPGA作为协处理器,FPGA强大的并行能力,可以同时实现各种接口时序,进行运动控制和数据处理^[12]。

整个控制系统的工作过程如下:

将需要喷绘的图片传输到ARM中,ARM将图片信息进行处理并组织成打印头需要的格式,通过EBI接口发送给FPGA。FPGA接收数据并存入一块DPRAM中,当一块DPRAM存满后换另一块存,同时存满的那一块DPRAM开始向打印头传输数据,一次喷射所需的数据传输完成后,发送喷射信号,喷头完成喷射。当一块DPRAM数据读完后,重新切换。切换时要保证打印系统能正常工作,上位机发送的数据速度一定要大于喷头喷射数据的速度,否则就会出现数据断档。所以DPRAM写入数据的速度总要大于读取数据的速度,系统在正常工作后采取读完一片DPRAM后切换。

2.3 异步时钟域数据传递

ARM和FPGA通过EBI接口收发数据,对于ARM和FPGA都有各自的时钟,因此这是两个不同的时钟域之间的数据传递。ARM中EBI接口数据在总线上的有效时间为80 ns,FPGA时钟为50 MHz,用FPGA的时钟去采样EBI总线上的数据,属于快时钟域采样慢时钟域的数据,只需要考虑亚稳态的问题。这里采用双锁存器的方法避免和减小亚稳态的发生^[13]。双锁存器法,即在一个信号进入另一个时钟域之前,将该信号用两个锁存器锁存两次。

2.4 大容量数据缓存构建

由于灰度打印控制系统中数据量比二态打印要大得多,同时上位机传输数据的非实时性和喷头印刷实时性之间存在一对矛盾,需要有外部存储器来缓存印刷数据来解决这对矛盾。控制系统为了实现系统的实时控制功能,采用对两片CY7C028双口RAM芯片进行乒乓操作的方法构建一个大容量的实时数据通道^[14]。双口RAM,即共享式多端口存储器,是在一个SRAM存储器上具有两套完全独立的数据线、地址线和读写控制线,并允许两个独立的系统同时对该存储器进行随机性的访问。对两片双口RAM乒乓操作的具体过程如图3所示。

当乒乓切换标志位ppf为0时,写RAM1,读

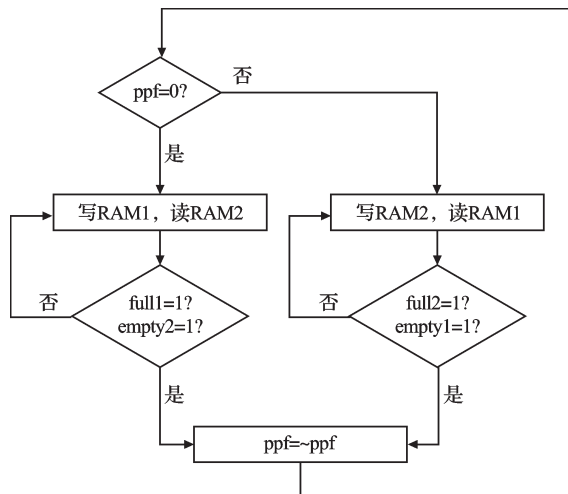


图3 双口RAM乒乓流程图

RAM2。RAM1满标志full1为1时,ARM将阻塞不再发送数据。当RAM2的空标志empty2为1即RAM2读完时,乒乓标志位ppf翻转,表示进行乒乓切换。此后,ARM发送的数据将写入RAM2,打印头从RAM1中读取数据,直到full2为1,empty1为1时再次进行乒乓切换。本研究通过不断反复地进行乒乓切换操作,构建一个大容量的数据存储区,满足了灰度打印系统中数据量巨大和打印头对数据的实时的需求。

2.5 打印头数据传输

从双口RAM中读出的数据流进一步传入喷头中。喷头将收到的数据转换成相应的压电动作,完成一次喷射操作。为了使喷头能正确喷射出相应的数据信息,必须严格地按照喷头手册中提供的时序进行数据的操作。每次喷射需要2 040 bit数据。发送数据开始时,DIR信号和nCONFIG信号必须从高电平变为低电平。完成2 040个数据的发送需要2 040个时钟脉冲,为了使喷头能正确接收数据,在每一个时钟脉冲DCLK到来之前,数据必须建立完成并且保持稳定。当最后一位数据传输完毕后,在DCLK保持高电平期间,nCONFIG信号从低电平变为高电平,随后DIR信号也拉高。此时,系统完成了喷射所需要的所有的数据的传输。根据这样的喷头时序,本研究在FPGA中构建一个从print模块,负责将双口RAM中数据正确的传输到打印头中。

本研究用Modelsim软件对FPGA中构建的打印模块进行时序仿真,得到仿真图如图4所示。由于仿真时数据量较大,图4截取了仿真图中的部分。

3 实验及结果分析

本研究为了验证XAAR1001连续喷射控制系统连续灰度喷射的性能,进行了相应的实验。笔者在实

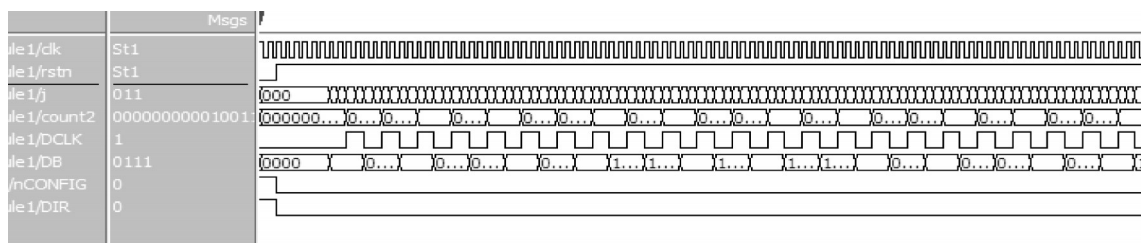


图4 打印头时序仿真图

验中采用高速摄像机对控制系统喷头末端进行拍摄,得到的喷头处微滴喷射和灰度形成过程的图像如图5所示。可以清晰地看到,每个墨滴具有良好形态和体积,喷射出的微滴以3个小微滴为一组,进一步形成一个大的微滴。通过控制脉冲的频率可以调整得到不同的灰度等级。XAAR1001连续灰度喷射控制系统打印的测试图如图6所示。其中,色阶测试图中具有8个明显的灰度等级,从右往左依次增强。锯齿测试图中三角形锐利清晰,其3条边并没发现锯齿特征。结合上述实验结果,表面设计的XAAR1001连续喷射控制系统能够实现8个灰度等级的微滴喷射,且图像边缘锐利清晰。

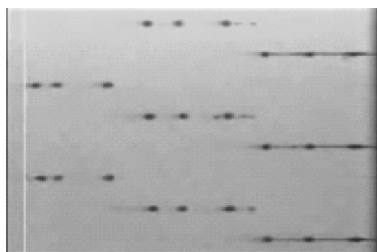


图5 喷头处微滴喷射和灰度形成过程

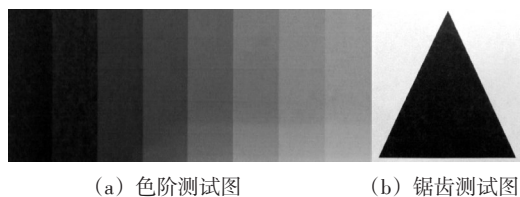


图6 打印测试图

4 结束语

本研究研制了一种连续灰度微滴喷射系统。系统采用ARM+FPGA的系统架构,以32位ARM微处理器为核心,FPGA作为协处理器负责接收数据采集系统传输过来的数据,使用2块相同的双口RAM器件构成内部数据缓冲模块,来解决CPU分时工作与打印头

实时工作的矛盾。通过采用xaar1001喷头构成喷头阵列,能实现幅面为280 mm的灰度微滴喷射。

实验证明,该系统喷射出8个灰度等级的微滴,同一灰度等级的微滴体积均匀一致,同时打印的图像锐利清晰。

参考文献(References):

- [1] HON K K B, LI L, HUTCHINGS I M. Direct writing technology—advances and developments [J]. **CIRP Annals—Manufacturing Technology**, 2008, 57(2): 601–620.
- [2] LEE E R. Microdrop generation [M]. Boca Raton: CRC press, 2010.
- [3] BURGOLD J, WEISE F, FISCHER M, et al. Evolution and operating experiences with different drop-on-demand systems [J]. **Macromolecular rapid communications**, 2005, 26(4): 265–280.
- [4] NESS C Q, LEWIS A R. Step-by-Step: pathways to smt part 5—adhesives/epoxies & dispensing [J]. **Surface Mount Technology—Libertyville**, 1998, 12(5): 114–123.
- [5] WEDEKIN S. Micro dispensing comes of age [J]. **Smt Surf Mount Technol Mag**, 2001, 15(4): 62.
- [6] 单子睿. 压电式喷墨系统之液滴形态控制研究及其数值模拟[D]. 台南: 成功大学材料科学及工程学系, 2003.
- [7] 方耀湘. 基于FPGA的高解析喷码机控制器设计与实现[D]. 长沙: 湖南大学电气与信息工程学院, 2007.
- [8] 刘志红. 喷墨印刷标签数码印刷新潮流[J]. **印刷技术**, 2008(8): 19–21.
- [9] 张 鸣. 迅速进入包装业的数字喷印技术——XAAR Leopard 灰度打印头[J]. **包装工程**, 2003, 24(4): 140–140.
- [10] 肖建明, 张向利. 一种改进的时间片轮转调度算法[J]. **计算机应用**, 2006, 25(B12): 447–448.
- [11] 姚静波, 辛朝军, 蔡远文. 一种基于多测试资源的并行测试任务调度算法[J]. **兵工自动化**, 2014(10): 27–29, 41.
- [12] 杨海钢, 孙嘉斌, 王 慰. FPGA 器件设计技术发展综述[J]. **电子与信息学报**, 2010, 32(3): 714–727.
- [13] 徐 翼, 郑建宏. 异步时钟域的亚稳态问题和同步器[J]. **微计算机信息**, 2008(5): 271–272.
- [14] 钱黄生, 夏忠珍. 基于FPGA双RAM乒乓操作的数据存储系统的研究[J]. **科技信息**, 2010(21): J0089–J0089.

[编辑: 李 辉]

本文引用格式:

卢凌峰, 占红武, 胥 芳. 连续灰度微滴喷射控制系统的研制[J]. **机电工程**, 2015, 32(4): 493–496.

LU Ling-feng, ZHAN Hong-wu, XU Fang. Jetting control system of continuous gray micro-droplet [J]. **Journal of Mechanical & Electrical Engineering**, 2015, 32(4): 493–496.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>