

文章编号:1004-4213(2010)05-0951-5

高分辨率航拍图像实时记录方法*

曾 峦^{1,2}, 赵忠文², 谭久彬¹

(1 哈尔滨工业大学 超精密光电仪器工程研究所, 哈尔滨 150080)

(2 装备指挥技术学院重点实验室, 北京 101416)

摘 要:针对某型高分辨率航空摄像机输出数据流达到每秒 200 兆字节, 常规方法难于实现图像数据实时记录的问题, 提出一种自启动多通道混合同步直写 SCSI 硬盘的方法. 通过新设计的状态控制器, 优化了 SCSI 硬盘的记录时序, 使多个并行记录通道能根据数据缓存器和硬盘的状态自动产生独立的直写脉冲, 以混合同步的方式将数据高速记录到硬盘上. 实验结果表明: 该方法可使图像数据持续记录速率达到每秒 200 兆字节, 储存容量可达 280 吉字节, 且结构简单、实用.

关键词: 高分辨率图像; 实时记录; 混合同步

中图分类号: TP941.74

文献标识码: A

doi: 10.3788/gzxb20103905.0951

0 引言

随着信息技术的发展, 航空光学成像技术在军事、经济领域中发挥着越来越重要的作用, 高分辨率航拍图像的应用范围越来越广. 而随着光学成像分辨率的提高, 成像传感器输出的图像数据速率也不断提高, 如某型高分辨率航空摄像机输出数据流就达到了每秒 200 兆字节, 使得常规的图像记录系统已不能完成实时、无压缩、长序列存储图像数据的任务.

目前, 高速数字图像记录系统主要有五种类型: 一是基于冗余磁盘阵列技术的记录系统^[1-2], 它利用磁盘超大容量的优势, 通过磁盘阵列结构解决快速 CPU 和慢速的磁盘 I/O 之间的“瓶颈”, 达到高速大容量存储数据的目的. 但是这种结构复杂, 磁盘阵列体积大, 在小型无人机上安装困难, 并且磁盘冗余导致成本较高. 二是依赖于高速微机和超大容量内存的记录系统^[3-4], 这种系统成本高, 记录速率只能达到每秒 7~8 兆字节, 且容量小, 即便是使用超大容量内存, 其增扩的容量一般只能达到几个吉字节的量级. 三是基于 flash 存储器的记录系统^[5-6], 这种系统的记录速率也可以做得很高, 但它在技术上不是很成熟, 如“坏块处理”等问题还没有完全解决, 并且价格也非常昂贵. 四是先使用压缩技术把数据量降下来后, 再记录到硬盘中^[7], 但这种方式会使图像数据信息受到较大损失, 影响后续图像处理的准确度, 不适合用于高准确度图像数据处理. 五是专用型数据记录系统, 一般由高速数据采集电路、高性能微处

理器、IDE(或 SCSI)接口硬盘和现场可编程门阵列组成^[8], 数据先高速采集到缓存区, 再经过专用的高速通道送到硬盘, 由 FPGA 完成复杂的接口逻辑控制, 微处理器控制及加载协议芯片程序. 这种记录方式目前只达到了每秒 100 兆字节的记录速率, 它是比较适合用于高速、大容量数据记录的系统.

本文通过优化专用型数据记录系统, 设计出一种超高速、大容量、嵌入式的图像数据记录系统. 超高速是指其持续记录速率达到每秒 200 兆字节; 大容量是指数据存储容量可达 280 吉字节; 嵌入式是指它能脱离微机系统进行数据记录, 操作简单实用.

1 传统数据记录技术分析

专用型高速数据记录系统主要是基于直写硬盘技术来构建的, 最早出现的是单盘直写硬盘的记录系统^[9-10], 由于受到硬盘的限制, 记录速率很难超过每秒 40 兆字节. 文献[11]提出一种“柔性并行高速数据记录系统”方案, 它采用串并结合的硬盘记录方式, 其单盘记录速率为每秒 15 兆字节, 整体最大记录速率也只有每秒 80 兆字节. 文献[12]提出了一种基于环形存储体的并行记录方式, 使用四个硬盘, 组成两路同步并行直写硬盘的记录系统, 采用并行同步 DMA 传输方式, 通过合理调度四个缓存器、两个 SCSI 控制器和四块硬盘使记录速率得到了改善, 但总平均记录速率也只达到每秒 100 兆字节, 并未提及持续记录速率能达到多少.

为了进一步提高记录速率, 多通道并行记录是一种解决方案, 通常是把输入的高速数据流分割成多个数据通道, 用多个并行的记录通道进行同步记录, 但这种硬同步并行记录方式的效率并不是很高.

* 总装备部试验技术研究(2006SY4112002)资助

Tel: 010-66364345

Email: zengluan@sina.com

收稿日期: 2009-12-17

修回日期: 2010-04-26

由于每个记录通道的硬盘都存在运动的机械构件磁片和磁头,硬盘寻道时间是在一定范围内(2~8 ms)动态变化的,且寻道事件随机发生,此时硬盘处于不可写状态,因此多个硬盘记录通道的可记录状态并不一致.图1为四通道硬性同步可记录状态示意图,每个记录通道上的灰色部分表示可记录状态,黑斑块颜色部分表示不可记录状态.

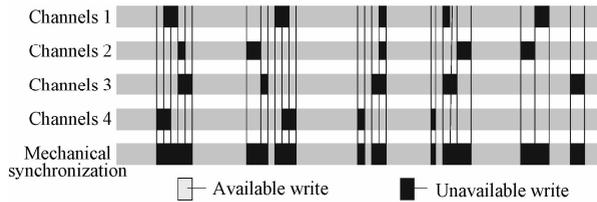


图1 同步记录状态

Fig.1 The state of synchrony write mode

从图1可看出,如果四个记录通道采用严格的时序硬同步,必然相互牵制,就必须等到四个硬盘都可写的时隙,才能进行数据记录,可记录状态时隙会明显减少,降低了每个记录通道的数据记录能力,因此,解决多通道相互牵制的问题是提高记录速率的重要途径.

2 系统设计思路

为了解决多通道硬性同步记录方式存在的问题,提出一种自启动多通道混合同步直写 SCSI 硬盘的方法,基本思路为:摄像机输出的高速数据流通过分流控制器,分成四路等宽度数据流,送到先进先出存储器进行缓存,这样,每秒200兆字节数据流被分解成四路每秒50兆字节的数据流.随后,需要产生一种数据直写时序,控制数据由FIFO缓冲器传输至SCSI协议控制器,并直接写入高速SCSI硬盘.自启动多通道混合同步直写SCSI硬盘的高速记录系统结构如图2.

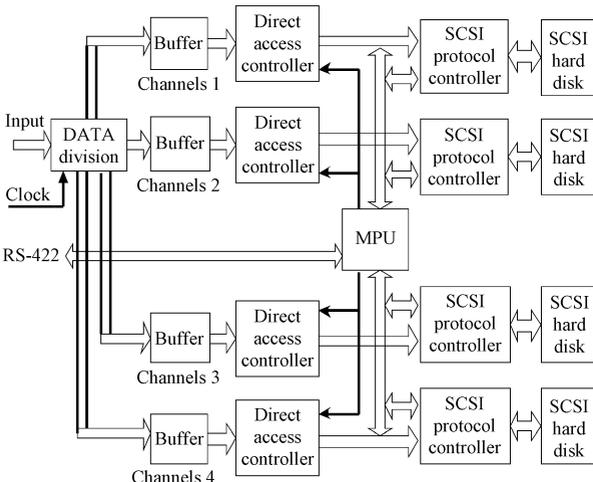


图2 高速记录系统结构

Fig.2 The structure diagram of high-speed record system

记录系统采用数据块同步的工作方式,每次启动一个64兆字节的数据块,使其同步进入四个通道进行数据传输与记录,即四个通道的数据是在一个时钟信号驱动下同步输入,并且要等到同时完成同一个64兆字节的数据块记录时,再启动下一个数据块的记录.在直写控制器之后,四个通道在记录数据过程中各个时序并不是严格同步的,即通道1停顿时,其它通道可能处于记录状态,或也可能处于等待状态,其它通道并不需与通道1状态一致,每个通道执行各自的写入时序,互不牵连,也就是说每个数据块记录的进入时刻是同步的,但各个通道在数据块进入和结束之间的时序不一定完全同步,这种同步实际上是一种松散的同步,称为混合同步.

由于四个记录通道硬件结构完全相同,硬盘型号也一致,其持续记录能力基本相同,采用混合同步的工作方式,能实现最大化利用每个记录通道硬盘的持续记录能力.

3 关键电路设计

要实现混合同步的工作方式,就要使每个记录通道具有自启动直写硬盘的能力,即在硬盘处于不可写状态时,先把数据暂存在缓存器中,当硬盘可写时,只要缓存器中有数据,就能立刻进入写状态,把数据直接写入硬盘.因此,关键是要设计出自启动直写控制电路和SCSI协议控制电路.

3.1 SCSI协议控制电路设计

SCSI协议控制器选用由美国QLOGIC公司生产的FAS466芯片,它区别于其它SCSI协议控制器的最大特点是采用了微处理器和DMA接口结构,内部结构如图3.

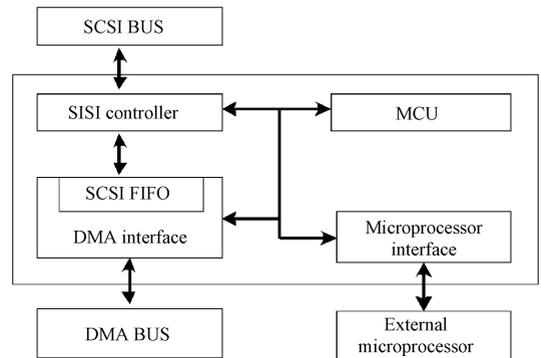


图3 FAS466内部结构

Fig.3 The inside structure of FAS466

FAS466由SCSI控制器、微控制器、DMA接口和微处理器接口四个模块组成,按照设计要求,其外部信号连接如图4.微处理器对FAS466的控制是通过对其寄存器的读写来实现的,如对FAS466的初始化与复位、SCSI总线分配与复位、SCSI总线各

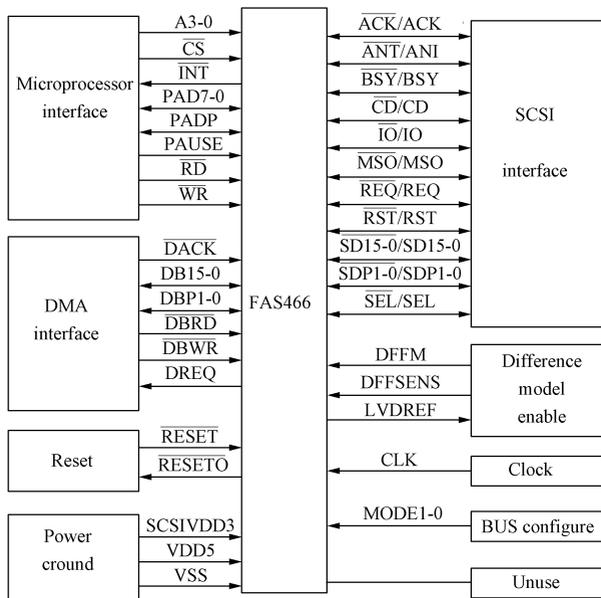


图 4 FAS466 外部信号连接
Fig. 4 The external signal connection of FAS466

阶段的迁移等操作。

3.2 自启动直写控制电路设计

研究发现, FAS466 工作在快速 DMA 模式时, DMA 使用的数据总线与 CPU 使用的数据总线是分开的, 只要按照快速 DMA 传输时序, 设计适当的驱动电路, 就可实现直写控制。快速 DMA 写周期的时序如图 5。

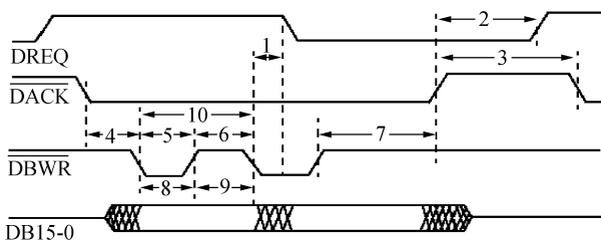


图 5 快速 DMA 时序
Fig. 5 High speed DMA timing

自启动直写控制电路的实现方法是用缓存器的几乎空信号 EF 为控制信号, 与 FAS466 的 DREQ 相与后, 经 D 触发器延时一个时钟周期, 回送给 DACK 作为响应。在 DREQ 和 DACK 都有效时, 用时钟脉冲来同时驱动缓冲器的读信号 FR 和协议芯片的写信号 DBWR。自启动直写控制器主要包括直写空闲、直写准备、数据等待、数据直写四个状态。微处理器发出的直写控制信号无效时, 无论处于何种状态, 自启动直写控制器都会转移到直写空闲状态, 此时数据总线均处于高阻状态, 自启动直写控制器输出的所有信号均处于无效状态; 而当微处理器发出的直写控制信号有效时, 在下一个时钟周期自启动直写控制器转移到直写准备状态, 此时, 将建立缓冲器与协议控制器的数据总线连接, 并实时监控四个高速 SCSI 硬盘的传输请求信号, 一旦传输请求

信号有效则在下一个时钟转移到数据等待状态, 此时自启动直写控制器将实时监控缓存器的几乎空信号、输出准备好信号和硬盘缓存的几乎满信号, 一旦缓冲器有数据且硬盘缓存有空间则在下一个时钟转移到数据直写状态, 此时自启动直写控制器就会产生控制时序及相应时钟信号将数据写入硬盘。电路结构如图 6, 用一片复杂可编程逻辑器件 EPM3256 实现。

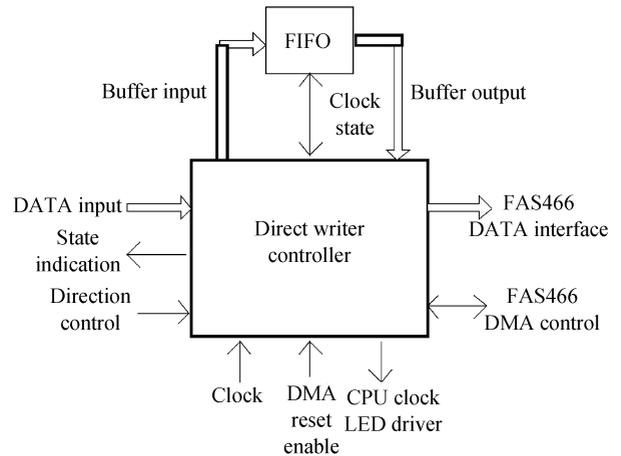


图 6 自启动直写控制器
Fig. 6 Self-starting and direct write controller

自启动直写控制器的初始化很简单, 只需正确设置方向控制位和直写使能控制位, 就可以根据缓存器和协议控制器的状态, 产生直写时序, 比常规的 DMA 控制器的启动时间要快得多。另外, 该电路除了提供快速直写时序外, 还要建立数据传输流通道和实现一些其它电路逻辑, 比如缓冲、时钟分配、LED 驱动等。

由于自启动直写控制器由单个直写控制信号触发, 不需要事先配置起始地址, 数据块大小等传统 DMA 控制器需要配置的一系列准备指令, 并且在每一个时钟周期中实时产生状态转移, 因此对硬盘的记录能力几乎没有额外影响, 有效的实现了对硬盘的高速直写, 同时, 由于没有地址线引脚(通常每通道可能高达 32 位地址线), 也有效地减少了布线数目。

4 实验结果

按照本文设计思想, 完成了系统的电路原理图和 PCB 图的设计, 电路板的制作和系统调试, 图 7 为实际电路样机照片。

本文对系统进行了三种测试: 一是使用专用的信号源, 分别产生 00、55、AA、FF 四组数据, 每次一组数据, 均以每秒 200 兆字节的速率送入数据记录系统进行 10 次测试, 考察数据记录稳定性。通过多次近 20 吉字节数据的测试比对, 没有发现任何错误

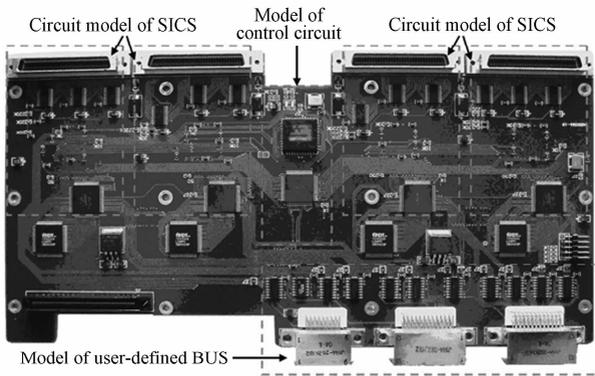


图7 样机照片

Fig.7 A model photograph

的数据,这表明系统记录数据是正确的。由于系统每启动一次都要记录 4×32 兆字节的数据块,每次测试时系统自动启动了 156 次以上,这说明系统在两次进入记录状态的连接处,其记录速率没有下降。二是使用专用信号源,分别产每秒 180~280 兆字节的数据速率,每次增加每秒 20 兆字节的速率,对系统进行整盘测试,用储存示波器监测 FIFO 电路的溢出信号,测试结果如表 1。表中的数据表明,记录系统最大持续记录速率可以达到每秒 220 兆字节左右;数据速率达到每秒 240 兆字节时,系统开始出现丢数现象,出现频率很低;数据速率为每秒 260 兆字节以上时,系统频繁出现丢数现象,此时,系统虽然可以工作在记录状态,但已不能用于实时数据采集的场合。三是使用高速数字相机直接与记录系统连接,储存示波器监测 FIFO 电路的溢出信号,通过整盘测试,没有发现溢出信号。这表明,系统在实时记录图像数据过程中,没有发生数据丢失现象,数据记录是安全的。

表 1 记录速率测试结果

Table 1 Test results of recording speed

Input speed/ (MByte \cdot s $^{-1}$)	Overflow signal number	Lose data
180	0	no
200	0	no
220	0	no
240	1~2 per channels	yes
260	20~50 per channels	yes
280	Over 100 per channels	yes

对四通道硬性同步和本文提出的混合同步记录进行了对比测试:硬性同步方式记录一个 64 兆字节数据块的平均时长为 530 ms,记录速率约为每秒 120 兆字节;混合同步方式记录一个 64 兆字节数据块的平均时长为 320 ms,记录速率约为每秒 200 兆字节,因此采用多通道混合同步技术,数据记录速率相比硬同步方式提高了 $(200-120)/120=66.7\%$ 。

5 结论

本文在深入研究传统数据记录方法的基础上,提出一种自启动多通道混合同步直写 SCSI 硬盘的方法,通过精心设计状态控制器,优化了 SCSI 硬盘的记录时序,使多个并行记录通道能根据数据缓存器和硬盘的状态自动产生独立的直写脉冲,以混合同步的方式将数据高速记录到硬盘上。实验结果表明,使用本文设计的记录系统,其持续记录速率达到了每秒 200 兆字节,数据记录速率相比硬同步方式提高了 66.7%。

参考文献

- [1] QIE Yu-shuang, LIU Guang-rong, LI Yue. High speed real-time uncompressed digital video record and analysis system [J]. *Optical Technique*, 2005, **31**(3): 476-478.
 鄒玉双, 刘广荣, 李悦, 等. 高速实时长时无压缩数字视频记录分析系统[J]. *光学技术*, 2005, **31**(3): 476-478.
- [2] LIUA B J, CAO B F, ZHOU M Z, *et al.* Trends in PACS image storage and archive[J]. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 2003(27): 165-174.
- [3] ZHAO Xia. Design of a data acquisition system for high speed linear CCD used for optical metrology [J]. *Opto-Electronic Engineerin*, 2004, **31**(6): 60-62.
 赵霞. 光学计量用高速线阵 CCD 数据采集系统设计[J]. *光电工程*, 2004, **31**(6): 60-62.
- [4] LU Dong-ming, CHEN Qian, GU Guo-hua. High resolution X-ray medical sequential image acquisition and processing system based on PCI interface[C]. *SPIE*, 2003, **5203**: 683-690.
- [5] LIU Wei-zhou, ZHANG Wen-dong, REN Yong-feng. Design of the control unit in the aerial solid state recorder[J]. *Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance*, 2005, **25**(1): 190-191.
 刘伟周, 张文栋, 任勇峰. 空载固态记录器中控制模块的设计[J]. *弹箭与制导学报*, 2005, **25**(1): 190-191.
- [6] YAN Xiao-yan, LIU Wen-yi, JIAO Xin-quan, *et al.* The design of the large-capacity solid State recorder to guided missile[J]. *Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance*, 2005, **25**(4): 522-523.
 闫晓燕, 刘文怡, 焦新泉, 等. 导弹用大容量固态记录器的设计[J]. *弹箭与制导学报*, 2005, **25**(4): 522-523.
- [7] SCHMALZL J. Using standard image compression algorithms to store data from computational fluid dynamics[J]. *Computers & Geosciences*, 2003(29): 1021-1031.
- [8] ZHAO Zhong-wen, ZENG Luan. Design and realization for a special high speed fixed disk recording equipment [J]. *Application of Electronic Technique*, 2002, **28**(8): 18-20.
 赵忠文, 曾峦. 一种专用高速硬盘存储设备的设计与实现[J]. *电子技术应用*, 2002, **28**(8): 18-20.
- [9] ZHANG Yao, LUAN Zhi-chao, OU-YANG Yi-ming, *et al.* IDE hard disk direct-write recording based on image format[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2004, **31**(5): 68-72.
 张耀, 栾志超, 欧阳益明, 等. 采用图像格式的 IDE 硬盘直写记录[J]. *光电工程*, 2004, **31**(5): 68-72.
- [10] LUAN Zhi-chao, OU-YANG Yi-ming, LI Hong-chuan, *et al.* Image recording techniques of direct-write hard disk with FPGA[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2003, **30**(6): 47-49.
 栾志超, 欧阳益明, 李红川, 等. 用 FPGA 的直写硬盘图像记录技术[J]. *光电工程*, 2003, **30**(6): 47-49.
- [11] High speed data recording system of collateral and flexible

[EB/OL]. (2007-4-27). <http://bd-st.gov.cn/nem/show.jsp>.

柔性并行高速数据记录系统[EB/OL]. (2007-4-27). <http://bd-st.gov.cn/nem/show.jsp>.

[12] HUANG Jin, GUO Li-hong, LI Yan, *et al.* High speed CCD

digital video storing technology[J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 2004, **27**(3):105-106.
黄进,郭立红,李岩,等. 高速 CCD 数字视频采集和并行存储技术[J]. 长春理工大学学报, 2004, **27**(3):105-106.

Real Time Record Method for High Resolution Aerial Image

ZENG Luan^{1,2}, ZHAO Zhong-wen², TAN Jiu-bin¹

(1 *Institute of Ultra-precision Optical & Electronic Instrument Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China*)

(2 *The Key Lab, Academy of Equipment Command and Technology, Beijing 101416, China*)

Abstract: In order to solve the problem that when the output data stream of a certain type of high resolution aerial camera reaches 200 megabytes per second, conventional methods are difficult to record the image data in real time, a self-starting, multi-channel hybrid synchronization direct-write method of SCSI hard disk is proposed. The new designed state controller optimizes the recording time series of the SCSI hard disk, so that multiple concurrent recording channels can generate separate direct-write pulses automatically according to the data cache and the status of the hard disk. The image data can be recorded on the hard disk with high speed and hybrid synchronization. Experimental results prove that the method can record the image data at the rate of 200 megabytes per second, storage capacity attained 280 Gigabytes, and moreover, the structure is simple and practical.

Key words: High resolution image; Real time record; Hybrid synchronization



ZENG Luan was born in 1963. He received his M. S. degree from Harbin Institute of Technology. Now, he is a professor, and his research interests focus on digital image processing and photoelectric information processing.