

文章编号:1007-2780(2013)06-0895-06

可见/红外双波段航空遥感相机 图像数据硬盘高速存储技术

韩松伟^{1,2}, 孙丽娜^{1,2}, 孟 中^{1,2}, 毛大鹏^{1,2}, 张建华^{1,2}

(1. 中国科学院航空光学成像与测量重点实验室, 吉林 长春 130033, E-mail: hsw2109@sina. com;

2. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘 要: 航空遥感相机每秒传输的图像数据流很大, 在将图像数据存储到硬盘过程中, 产生丢帧现象。为解决此问题, 文章以灵巧型双波段航空遥感相机为例, 介绍了一种硬盘高速存储图像数据技术及具体实现方法。从多角度对图像数据丢帧现象进行了详细的理论分析; 在理论分析的基础上, 通过实验所得数据证明了分析的正确性, 明确指出图像数据在传输、存储过程中速率瓶颈所在; 在理论分析和实验数据基础上, 针对图像数据存储丢帧问题在硬件和软件两个方面提出了具体解决方法, 最终成功解决了图像数据丢帧问题, 图像数据无丢帧存储由 8 帧/s 提高到 24 帧/s, 硬盘工作效率由 51.6% 提高到 78.3%。

关 键 词: 双波段; 可见光; 红外; 航空遥感; 硬盘阵列; 高速存储; 多线程

中图分类号: TP31

文献标识码: A

DOI: 10.3788/YJYXS20132806.0895

Image Data Hard Disk High-Speed Storage Technology of Visible/Infrared Dual-Band Aerial Remote Sensing Camera

HAN Song-wei^{1,2}, SUN Li-na^{1,2}, MENG Zhong^{1,2}, MAO Da-peng^{1,2}, ZHANG Jian-hua^{1,2}

(1. Key Laboratory of Airborne Optical Imaging and Measurement, Chinese Academy of Sciences,

Changchun 130033, China, E-mail: hsw2109@sina. com;

2. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: Aerial remote sensing camera image capture has a huge data flow per second for image transmission. The image frames lost in the process of storing to hard disk. To solve this problem, an image data high-speed storage technology by hard disk and implementation method are introduced based on the miniaturization dual-band aerial remote sensing camera. The problem resulting in the frame losing is analyzed theoretically from multi-angle. The analysis is proved accurate by the experimental data. The bottle-neck is pointed out clearly during the image transmission. Finally, based on theoretical analysis and experimental data, the concrete solutions are proposed in both hardware and software: use RAID technology and allocate large cache in hardware, use WINDOWS multiple-thread programming combined HOOK technology in software. With the combination of these methods, the problem of the frame losing is solved successfully. Image data is stored without losing frames from 8 frame/s increase to 24 frame/s. The work efficiency of the hard disk is improved from 51.6% to 78.3%.

Key words: dual-band; visible; infrared; aerial remote; hard disk array; high speed memory; multiple thread

收稿日期: 2013-07-19; 修订日期: 2013-08-12

基金项目: 国家“863”高技术研究发展计划资助项目(No. 2008AA121803)

作者简介: 韩松伟(1980—), 男, 吉林蛟河人, 硕士, 助理研究员, 主要研究图像数据处理相关工作。

1 引 言

在航拍侦察领域,为了实现全天候侦察,需要同时搭载不同波段的遥感传感器,需要存储系统能够实现双路甚至多路高速数据的并行写入,并且能够通过飞控系统进行灵活控制。同时为了对目标实时图像进行精确的事后处理,需要将图像无损、无丢失的存储下来,因此所采用的图像数据存储方法必须满足高速、实时、图像无损、无丢失的要求^[1-2]。

国内对于存储技术的研究主要集中在存储系统的实现上,研究、开发相对滞后。已有报道中,华中科技大学的信息存储国际重点实验室从多线程 I/O 入手,实现了 SCSI 总线上多个存储设备的并行操作^[3];装备指挥技术学院电子工程系用 DSP 结合 SCSI 协议,实现了持续存盘速率大于 35 MB/s 的性能要求^[4];国防科技大学电子工程学院设计了一种基于数据采集卡和 SCSI 硬盘,利用软件技术控制文件以流的方式直接写入硬盘的数据存储系统,实时数据记录速率达到 40 MB/s^[5];中科院长春光机所开发的基于 SCSI 实时高速数字视频直接存储技术,利用 SCSI 协议芯片 FAS466 实现 SCSI 总线协议,并引入了磁盘阵列技术,实时数据存储速率达到了 100 Mbyte/s^[6]。

相对国内而言,国外高速硬盘数据存储技术发展很快:美国明尼苏达州大学军用高性能计算研究中心图形和可视化实验室已有持续数据传输率达 509.8 MB/s 的磁盘阵列机;应用 PAID(Parallel Array of Inexpensive Disks)技术的海量存储设备 DSU1000 的持续数据传输率达到 500 MB/s^[7]。

本文通过研究硬盘存储技术,硬件上采用硬盘阵列技术,软件上采用增大系统缓存、开启多线程编程以及 HOOK 技术相结合对分配的缓存进行控制、管理,大大提高了硬盘存储速率及工作效率,成功解决了图像数据存储过程中出现丢帧问题,很好的实现了高速实时图像无丢帧存储,具有低成本、高稳定性等特点。

2 图像数据存储系统模型

灵巧型双波段航空遥感相机系统模型主要包括:可见光传感器、红外传感器、双通道图像数据采集系统、图像数据传输总线、图像数据缓冲系统

及 SATA 存储硬盘 6 部分构成,系统组成框图如图 1 所示。

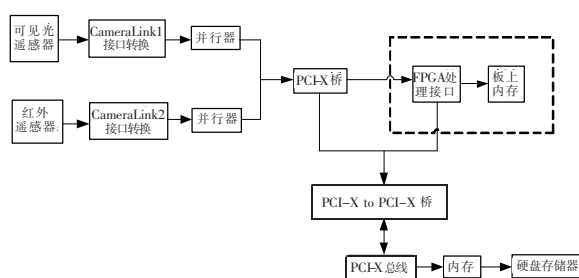


图 1 图像数据存储模型

Fig. 1 Model of image data memory

3 SATA 硬盘数据传输速率分析

图像数据从传感器中读出,首先通过采集卡上的 ChannelLink 芯片将图像采集到缓冲区,之后经由 PCI-X 总线传输至电脑内存中,最后经过 SATA2.0 接口传输至硬盘存储器进行存储,图像数据传输流程如图 2 所示。

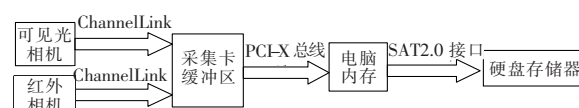


图 2 图像数据传输模型

Fig. 2 Model of image data transmission

由图 2 可以看出,图像数据从传感器输出,最终存储至硬盘,过程中影响图像数据传输速率的因素主要有以下几点:

(1) ChannelLink 芯片将图像数据采集到采集卡缓冲区的速率;

(2) 采集卡缓冲区中的图像数据经由 PCI-X 总线传输到电脑内存的传输速率;

(3) 电脑内存中的图像数据经由 SATA2.0 串行存储总线接口传输到盘上的传输及存储速率。

下面从以上提出的 3 个方面对 SATA 硬盘阵列数据传输率进行分析。

3.1 ChannelLink 接收器

采集卡用两个标准的 ChannelLink 芯片分别接收可见光、红外两路视频图像数据和同步或异步信号,每个 ChannelLink 芯片在一个时钟周期内可以接收 24 bit 的图像数据,4 bit 的同步(或异步)数据,工作在 66 MHz 的时钟下,可以计算出

单个 ChannelLink 接收器的传输率为: $(24+4) \times 66 \text{ M}=231 \text{ MByte/s}$, 每秒能够传输图像数据: $24 \times 66 \text{ M}=198 \text{ MByte/s}$ 。

3.2 PCI-X 总线传输率

PCI-X 是 PCI 总线的一种扩展架构, 所有的连接装置共享所有可用频宽, 可扩展频率, 支持 66, 100, 133 MHz 等频率, 如表 1 所示。

表 1 PCI-X 总线的速率
Table 1 Velocity of PCI-X bus

总线类型	频率速率/MHz	频宽
PCI-X 66 64	66	533 MByte/s
PCI-X 100 64	100	800 MByte/s
PCI-X 133 64	133	1.06 GByte/s
PCI-X 266 64/16	133	2.13 GByte/s (Double Data Rate)
PCI-X 533 64/16	133	4.26 GByte/s (Quad Data Rate)

本系统中的图像采集卡 PCI-X 采用 64 位总线, 工作在 100 MHz 的频率下, 拥有 800 Mbyte/s 的带宽。

3.3 串行存储总线 SATA 传输率

SATA 即串行 ATA, 以连续串行的方式传送数据, 在较少的位宽下使用较高的工作频率来提高数据传输的带宽。Serial ATA 1.0 定义的数据传输率可达 150 MByte/s, Serial ATA 2.0 的数据传输率达到 300 MByte/s, 最终 Serial ATA 3.0 将实现 600 MByte/s 的最高数据传输率。

本系统中硬盘存储器为 SATA2.0, 传输速率为 300 MByte/s。

3.4 数据传输速率瓶颈

可见光/红外双波段航空遥感相机系统中, 可见光相机帧频为 24 帧/s, 像元数为 $2\,352 \times 1\,726$, 每个像元 8 bit, 一帧图像数据大小为 3.87 Mbyte/s, 每秒图像数据量为 $3.87 \times 24 = 92.88 \text{ Mbyte/s}$; 红外相机帧频为 50 帧/s, 像元数为 320×256 , 每个像元 8 bit, 一帧图像数据大小 0.078 Mbyte/s, 每秒图像数据量为 $0.078 \times 50 = 3.9 \text{ Mbyte/s}$ 。若可见光/红外相机都满帧频工作, 系统需要无丢帧连续存储图像数据 96.78 Mbyte/s 才能够保证完成任务。

通过以上分析, 各种接口总线数据传输速率

情况对比如表 2 所示。

表 2 总线数据传输速率对比
Table 2 Contrast of transmission rate among different bus

接口总线	理论传输速率/(MByte/s)	稳定性
ChannelLink	198	稳定
PCI-X 100 64	800	稳定
SATA 2.0	300	稳定
实际要求	96.78	稳定

由表 2 可以看出, 在图像数据传输路径上, 每个接口总线的数据传输速率都远远高于实际要求, 由此分析, 造成图像数据存储丢帧问题的最大可能出现在终端设备上, 即图像数据写入硬盘这个环节。

4 实 验

根据硬盘的工作机理分析, 由于硬盘写入方式不同、写入区域的不同, 数据缓冲区容量等因素, 硬盘的实际数据写入速率会与 SATA 2.0 总线的数据传输速率有所偏差。

实际中使用 DiskSpeed32 硬盘测速软件对硬盘数据写入速率进行测试, 测试结果如图 3 所示。

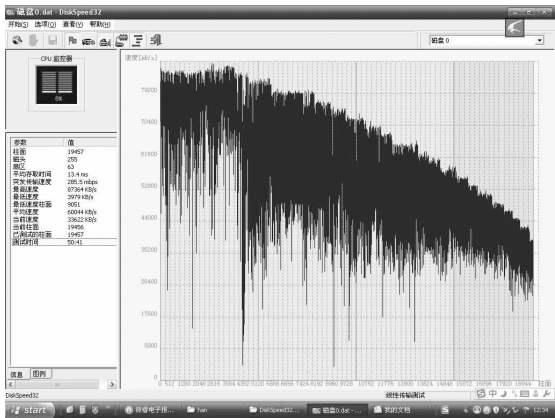


图 3 对 SATA 硬盘测速
Fig 3 Memory test for SATA hard disk

由图 3 可以看出: 图像数据持续写入硬盘过程中, 写入速率从 3.979~87.364 MByte/s 不等, 平均速率为 60.044 MByte/s, 且图 3 中“毛刺”很多, 即硬盘的存储速率很不稳定。原因在于数据写入硬盘时并不连续, 当数据写入磁碟外围物理区域时, 传动手臂移动行程长, 耗费时间多, 因此造成图像数据的丢帧^[8]。

另一个因素是计算机的系统资源,本系统数据采集的工作流程:外部数据通过传输总线至计算机内存的缓冲区,计算机进行显示处理,最后存储到磁盘。对于内存来说,一个工作周期需要完成数据的写入和读出,而外部遥感图像数据是源源不断的,因此会发生因抢占计算机内部数据总线而导致阻塞、图像数据丢帧的问题^[9]。

实际工作中,由于红外相机的数据量小,存储过程中未发现丢帧现象,下面主要分析可见光相机在存储过程中的图像数据丢帧问题。对任意目标以 1~24 帧频进行连续拍照,拍照时间 1 min,对拍照的图像数据直接硬盘存储,记录在不同帧频下,图像数据的丢失情况,如表 3、图 4 所示。

表 3 不同拍照帧频下图像数据丢帧情况

Table 3 Instance of image data losing at different shooting frequency

拍照帧频/(帧/s)	实际存储图像数量/帧	理论存储图像数量/帧
1	60	60
2	120	120
3	180	180
4	240	240
5	300	300
6	360	360
7	420	420
8	480	480
9	535	540
10	582	600
11	624	660
12	659	720
13	684	780
14	704	840
15	718	900
16	720	960
17	723	1 020
18	725	1 080
19	725	1 140
20	726	1 200
21	726	1 260
22	726	1 320
23	726	1 380
24	727	1 440

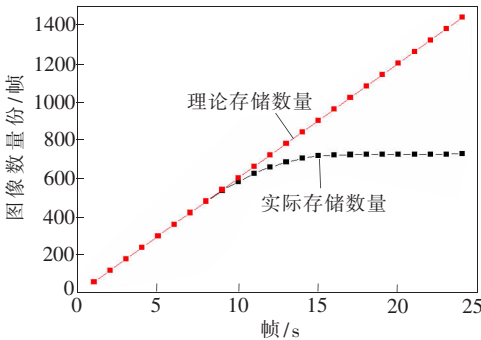


图 4 不同帧频拍照时图像数据存储情况

Fig. 4 Instance of image data storing at different shooting frequency

由表 3、图 4 可以看出:

- (1)当拍照频率在 8 帧/s 及以下时,所拍图像可以无丢帧存储到硬盘;
- (2)当拍照频率大于 8 帧/s 时,开始出现丢帧现象;
- (3)当拍照频率达到 16 帧/s 时,硬盘的存储速率几乎到达了一个极限,此时再增加拍照频率,存储到硬盘的图像数量几乎不再增加,即硬盘只能每秒存储 16 张图像,图像数据量为 $3.87 \times 16 = 61.92$ MByte,与所测硬盘的平均速率 60.044 MByte/s 基本相符。

如果定义硬盘无丢帧存储速率为硬盘的有效存储速率,则可定义硬盘存储的工作效率 $\eta_{\text{工作效率}} = \frac{v_{\text{有效存储速率}}}{v_{\text{平均存储速率}}}$ 来表征硬盘无丢帧存储图像数据的效率,则此种状态下,硬盘的工作效率为 $\eta_{\text{工作效率}} = \frac{3.87 \times 8}{60.044} = 51.6\%$ 。

5 解决图像丢帧问题

以上分析并验证了硬盘存储图像数据造成丢帧的原因,为解决此问题,首先考虑提高硬盘存储速率;其次采用增大缓存的方法,先将每一帧采集的图像数据存储到缓存中,然后由缓存向硬盘存储;最后采用 Windows 编程的多线程及 HOOK 技术,对分配的缓存进行管理、控制,使系统资源得到进一步的合理利用。

5.1 采用 RAID 技术增加硬盘的存储速率

RADI0 有着所有 RAID 级别中最高存储速率。如图 5 所示,RAID0 把连续的数据分散到多个磁盘上进行存取,系统的数据请求被多个磁

盘并行执行,每个磁盘执行属于它自己的那部分数据请求。这种数据上的并行操作可以充分利用总线的带宽,显著提高磁盘整体存取性能。

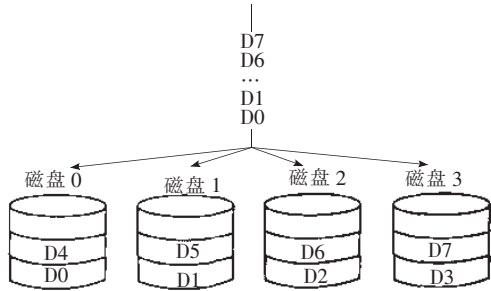


图 5 RAID0 工作原理

Fig. 5 Work principle of RAID0

本文中选用 2 个 SATA2.0 硬盘组成 RAID0 阵列,使用 DiskSpeed32 硬盘测速软件进行测速,测试结果如图 6 所示。

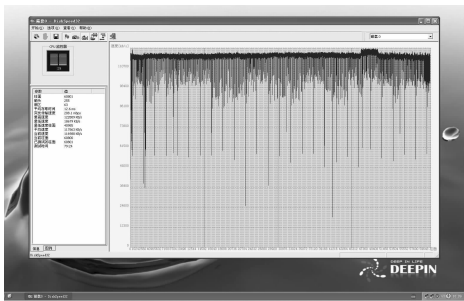


图 6 SATA 硬盘阵列测速

Fig 6 Memory test for SATA hard disk array

可以看出 RAID0 的存储速率明显高于单个硬盘的存储速率,虽然还是有很多“毛刺”,但相对比图 3 已经有了明显改善。平均速率达到了 117.863 MByte/s,约为单个 SATA 硬盘传输速率的 2 倍。

此时重复之前的拍照、存储实验,所得数据如表 4、图 7 所示。

由表 4、图 7 可以看出:

(1)当拍照频率在 16 帧/s 及以下时,所拍图像可以无丢帧存储到硬盘;

(2)当拍照频率大于 16 帧/s 时,开始出现丢帧现象,但相对比图 4 而言有了明显改善。

于是考虑到系统资源占用方面的原因。在提高了硬盘存储速率后,决定采取增大系统缓存,结合 Windows 编程的多线程技术和 HOOK(钩子)技术对缓存进行管理和控制,来解决丢帧问题^[10]。

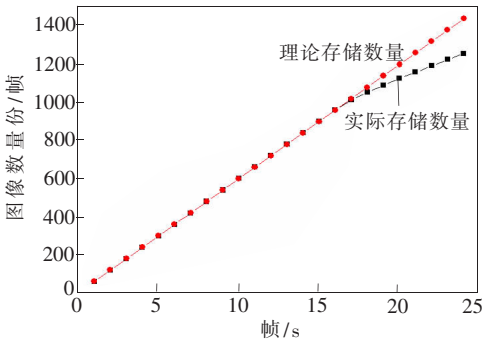


图 7 不同帧频拍照时图像存储情况

Fig. 7 Instance of image data storing at different shooting frequency

表 4 不同拍照帧频下图像数据的丢失情况

Table 4 Instance of image data storing at different shooting frequency

拍照帧频/(帧/s)	实际存储 图像数量/帧	理论存储 图像数量/帧
1	60	60
2	120	120
3	180	180
4	240	240
5	300	300
6	360	360
7	420	420
8	480	480
9	540	540
10	600	600
11	660	660
12	720	720
13	780	780
14	840	840
15	900	900
16	960	960
17	1 013	1 020
18	1 053	1 080
19	1 091	1 140
20	1 127	1 200
21	1 159	1 260
22	1 192	1 320
23	1 226	1 380
24	1 257	1 440

在程序中判断采集卡是否采集到新图像,如果采集到一帧新的图像,则调用 HOOK 函数开启一个自定义的线程,在线程中分配一个缓存区,对图像进行存储。图像数据的采集与存储各自独立,同时进行。当第十帧图像数据显示后,存入第十个缓存中时,采集的下一帧图像数据则从第一个缓存开始,依次类推,最后从缓存中将每一帧图像数据存入到硬盘。当相机以最大帧频 24 帧/s 对目标进行拍照时,平均 41.6 ms 采集一帧图像数据,把采集的图像数据分配到十个缓存中分别存到硬盘,相当于把每幅图像的存储时间提高了 10 倍,即采集到一帧新的图像后,有将近 416 ms 的时间来对该图像进行存储,在很大程度上减小

了由于硬盘存储速率突发降低而导致图像数据丢失的可能性,程序流程图如图 8 所示。

程序代码用 VC++ 6.0 实现后,以最大帧频 24 帧/s 连续采集 2 min,共 2 880 张图像存储到硬盘上,无丢帧现象,图像数据无丢帧存储由 8 帧/s 提高到 24 帧/s,此时硬盘的工作效率为

$$\eta_{\text{工作效率}} = \frac{3.89 \times 24}{117.863} = 78.3\%, \text{丢帧问题得以解决。}$$

6 结 论

从图像数据的传输流程入手,详细阐明了图像数据从可见/红外两路数字相机输出,存储至硬盘上所经过的接口、总线的传输速率,从理论上分析出图像数据写入硬盘的环节是本系统的速率瓶颈,并且通过硬盘测速试验证实了该分析的正确性。基于此分析结果,硬件上采用两块硬盘组成 RAID0 模式硬盘阵列,使硬盘的平均存储速率由 60.044 MByte/s 提高到了 117.863 MByte/s;软件上分配大缓存区,使用 WINDOWS 编程的多线程技术和 HOOK 技术对分配的缓存区进行管理、控制以提高程序运行速率与效率;每采集到一帧新图像即开启一个线程,在线程中将图像数据暂时存储到缓冲区中,一方面避免了在硬盘读写速率瞬间降低时不会被新图像覆盖,另一方面,当硬盘的读写速率高时可及时将缓冲区中的图像数据读出,从而解决了图像数据丢帧的问题,图像数据无丢帧存储由 8 帧/s 提高到 24 帧/s,硬盘存储的工作效率从 51.6% 提高到 78.3%。如果采用高速固态硬盘组合成阵列,作为存储介质,存储速率还会大大提高。

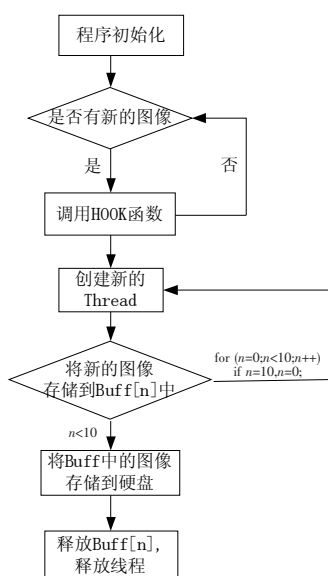


图 8 图像数据存储流程图

Fig 8 Flow chart for image data storing

参 考 文 献:

- [1] 余达,龙科慧,徐东,等.多路高速短消隐期线阵 CCD 图像数据存储设计[J].液晶与显示,2013,28(2):284-289.
- [2] 陶宏江,韩双丽,张宇,等.基于 ADV212 的远程图像采集系统设计[J].液晶与显示,2013,28(1):105-109.
- [3] 张江陵,冯丹.海量信息存储[M].北京:科学出版社,2003.
- [4] 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,(8):18-20.
- [5] 张昆帆,王展,皇甫堪.高速数据采集和存储[J].现代雷达,2004,26(4):14-16.
- [6] 黄进.基于 SCSI 实时高速数字视频直接存储技术的研究[D].长春:中科院长春光机所,2005.
- [7] 王福文.磁盘阵列高速数据录取系统的理论与实现技术研究[D].长沙:国防科学技术大学博士学位论文,1999.
- [8] 张蕴玉,王元祥,胡修林,等.高速数据采集系统中的存储瓶颈问题及解决[J].微计算机应用,2007,28(6):610-613.
- [9] 王跃明,陈建新,刘银年,等.基于 PC 机的遥感图像高速存储技术[J].计算机工程,2004,30(16):166-167,187.
- [10] 孙皓,冯华君,刘博,等. Visual C++ 范例大全[M].北京:机械工业出版社,2009:446-447.