

文章编号: 1672-8785(2006)06-0006-05

# 用于机载三线阵 CCD 相机三维立体摄影的高速数据记录系统

张冰娜, 舒 嵘, 马庆军

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083)

**摘 要:** 介绍了用于三线阵 CCD 相机三维立体成像系统的高速实时数据记录系统。该系统包括两个子系统: 彩色 CCD 高速数据存储系统和黑白 CCD 高速数据存储系统。来自 CCD 相机的高速数据经 cPCI 数据采集卡缓冲存储后送往 PXI 总线, SCSI 控制卡与 cPCI 采集卡在 PXI 总线上通过 DMA 方式直接交换数据, 不需要 CPU 干预, 使存储速度大大提高。为了测试系统的性能, 由机载试验飞行对其性能进行了检验。

**关键词:** SCSI; 高速数据存储; CCD; PXI

**中图分类号:** TP752.1 **文献标识码:** A

## High-speed Data Acquisition System for Airborne Three Linear Array CCD Camera for Three-dimensional Photographing

ZHANG Bing-na, SHU Rong, MA Qing-jun

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

**Abstract:** A real time high-speed data acquisition and record system for an airborne three linear array CCD camera used for three-dimensional photographing is presented. This system includes two subsystems: a color CCD high-speed data acquisition and storage subsystem and a monochrome CCD high-speed data acquisition and storage subsystem. After being buffered and stored by a cPCI data acquisition card, the high-speed data from the CCD camera are sent to a PXI bus. Then, a SCSI control card exchanges the data with the cPCI card on the PXI bus in the way of DMA. Because the intervention from CPU is not required in this process, the data storing speed is greatly improved. To test the performance of the system, air flight tests have been carried out.

**Key words:** SCSI; high-speed data; CCD; PXI

### 1 引言

光学空间对地观测技术的发展以及全球定位技术的应用, 使得利用遥感手段高效、高精度地获取量化的三维立体地物信息成为可能。三维立体成像就是仿照人眼的视觉原理, 从不同的方向获取目标图像, 即多角度成像, 然后再根

据立体像对数据, 经处理重构成三维图像。1978年, 德国科学家 Otto Hofmann 提出三线阵 CCD 立体摄影测量的新概念, 也即具有一定交会角的前视、正视和后视线阵 CCD 一起参与摄影测量, 再结合 GPS 数据, 通过计算机处理构成地表三维立体影像。较常用的是前视和后视各采

**收稿日期:** 2005-11-23

**基金项目:** “十五”国家 863 计划信息获取与处理技术领域重大项目 (2001AA131090)

**作者简介:** 张冰娜 (1974—), 女, 硕士研究生, 主要从事航空遥感电子学方面的研究。

用一条全色(黑白)长线列 CCD, 正视采用一条彩色(RGB 三通道)长线列 CCD。长线列 CCD 器件的量化至少为 12bit, 数据率达 10MHz, 要实时准确地记录和存贮五个通道的遥感图像数据是一项极大的挑战, 制作高速率、大容量、持续记录时间长的数据存储设备成为当务之急。一般的数据采集先通过 PCI 总线写入内存, 然后再经过 PCI 总线写入硬盘。这样这两个数据流都要占用 PCI 总线的频宽, 实时数据记录速度较低。从主存储器到硬盘成为数据记录系统的瓶颈, 一般这个程序经由文件系统处理, 受限与操作系统与文件系统的限制(例如 MS-DOS 对 2Gbyte 的限制、Win32 的快取系统), 先进的档案系统反而会对高速存盘造成累赘。如果可以跳过档案系统直接存取, 储存的速度将会有非常大的改进。目前存储设备的接口有五大类: IDE、SCSI、USB、并行口和串口, 其中并行口与串口的速度非常慢, 而 SCSI 则以高传输率和高可靠性著称。SCSI 适配卡具有小型 CPU, 有自己的命令集和缓存, 可处理一切 SCSI 设备的事务, 从而可以绕过文件系统直接将数据存储于硬盘, 大大提高存储速度。本文立足于实现大容量, 高速率实时遥感数据存储, 制作了基于 SCSI 总线的数据记录装置, 取得了良好的效果。

## 2 系统架构

整个系统由彩色 CCD 图像采集存储系统和黑白 CCD 图像采集存储系统这两套子系统组成。每套子系统又包括线列 CCD(包括驱动、时

序、发送、接收部分)、嵌入式计算机、PCI 采集卡、SCSI 控制卡及 SCSI 硬盘阵列等数据记录装置。采用凌华公司的 PXIS-2632DC 3U 双系统机箱, 将两套子系统集成到一个机箱内。整个系统基于 PXI 总线技术架构, 图 1 为系统架构示意图。PXI 总线是基于工业标准的 PCI 总线, 与 Compact PCI 具有完全的互操作性。PXI 标准的模块可安装在 Compact PCI 的机箱中使用, 反之亦然。当然, 在这种情况下, 只能实现 Compact PCI 的功能。PXI<sup>[1]</sup> 将台式 PC 的性能价格比优势与 PCI 总线面向仪器领域的必要扩展完美地结合起来, 其优势主要表现在:

- (1) 高速 PCI 总线结构, 传输速率达 132MB/s, 和 PCI 可以完全互操作;
- (2) 具有 10MHz 的系统参考时钟以及触发线和本地总线;
- (3) 模块化仪器结构, 具有标准的系统电源、集中冷却和电磁兼容性能;
- (4) 易于集成, 价格低, 具有灵活性好的开放性工业标准;
- (5) 具有 LabView、C++ 等系统开发工具。

来自 CCD 相机的高速数据流经整理后, 经 cPCI 数据采集卡缓冲存储后送往 PXI 总线, SCSI 控制卡与 cPCI 采集卡在 PXI 总线上通过 DMA 方式直接交换数据, 再将数据送往 SCSI 硬盘。数据采集卡选 cPCI-7300A 高速数字 I/O 卡, 其利用基于 32bit PCI 总线结构的总线主控 DMA 和 scatter-gather 技术实现板载 FIFO 与主机内存间的高速数据传输。DMA 技术由 7300 卡上的 DMA

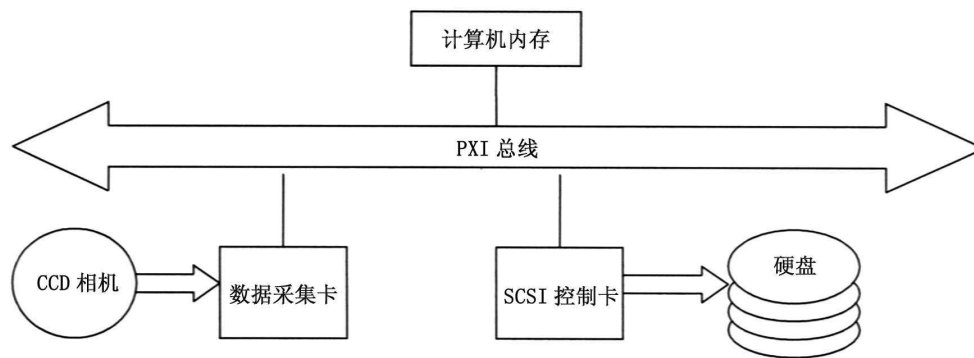


图 1 系统架构示意图

控制器完成大数据量的传输,既不通过 CPU,也不需要 CPU 的干预,PCI 卡代替 CPU 接管总线并负责数据传输,省去了由 CPU 负责传输时所必须的寻址指令,因而大大改善了系统的性能。存储介质选用希捷 Cheetah 15K.3, ST373453LW 型号的 SCSI 硬盘,格式化后容量为 73GB,转速为 15000RPM,采用 ultra320 68 针 SCSI 接口。

### 3 SCSI 总线简介

SCSI<sup>[2]</sup>,即小型计算机系统专用接口,是一种连结主机和外围设备的接口,它支持包括磁盘驱动器、磁带机、光驱、扫描仪在内的多种设备。它由 SCSI 控制卡进行数据操作。

SCSI 技术的优势主要表现在:

(1) 支持多个设备, SCSI-2 最多可接 7 个 SCSI 设备, Wide SCSI-2 以上可接 15 个 SCSI 设备。而传统的 IDE 总线只能接主从两个设备。

(2) 占用的 CPU 极低,在多任务系统中优势非常明显。由于 SCSI 卡本身带有 CPU,可处理一切 SCSI 设备的事务,在工作时主机 CPU 只要向 SCSI 卡发出工作指令,然后 SCSI 卡就自己进行工作,工作结束后把结果返回给 CPU 就行了,在此过程中 CPU 可以忙自己的;而 IDE 设备在工作时, CPU 需管理整个过程。

(3) SCSI 设备的智能化程度高, SCSI 卡可对 CPU 指令进行排队,这样就提高了工作效率。在多任务时硬盘会将在当前磁头位置附近的任务先完成,不像 IDE 硬盘那样一个一个完成任务。

(4) SCSI 接口的传输速率为 5~160MB/s,而 IDE 接口的传输速率为 3.3~66MB/s,采用 Wide Ultra SCSI LVD(低电压差分)技术,传输速率最大可达到 80MB/s。

(5) SCSI 技术的缺点在于价格昂贵,实现起来比较复杂。

### 4 存储容量计算

三线阵 CCD 立体摄影采用高分辨率长线列 CCD,其中包括正视彩色线列 CCD 一条,前视和后视黑白全色 CCD 各一条。

正视彩色 CCD 包括 RGB 三条通道,每条通道有 10200 个像元,每个像元为 16bit(相当于 2 个字节)量化;

前视黑白全色 CCD 有 8800 个像元,每个像元为 12bit 量化,不足 16bit 的地方以 0 补充;

后视黑白全色 CCD 有 8800 个像元,每个像元为 12bit 量化,不足 16bit 的地方以 0 补充;

在每帧的起始位置分别加 16bit 的同步头和序列号,以便于图像数据处理和检验丢帧。同步头加 55AA 以便标示每帧数据的开始,序列号为 16bit 的循环递加计数器。

为了达到要求的视场范围,帧频在 100~700Hz 可调,存储系统容量按照最大帧频 700Hz 考虑。为了便于高速图像数据记录,将三个通道的 RGB 彩色线列 CCD 数据进行整理,写入同一个文件进行存储。将前视和后视的黑白全色 CCD 相机的数据进行整理,同时写入另一个文件,并且用两套独立的子系统同时存储彩色和黑白 CCD 相机的图像数据。因此可以得到:

需要记录的数据速率 = 每帧像元数 × 每个像元的字节数 × 帧频 × 数据路数;

正视彩色数据的记录速率为  $10202 \times 2 \times 700 \times 3 = 42.8484 \text{ MB/s}$ ;

前视和后视黑白数据的记录速率为  $8802 \times 2 \times 700 \times 2 = 24.6456 \text{ MB/s}$ ;

写满一个硬盘需要的时间(单位: s) = 硬盘容量 / 数据记录速率;

彩色数据写满一个硬盘的时间为  $73000,000,000 / 42,848,400 = 28.4 \text{ min}$ ;

黑白数据写满一个硬盘的时间为  $73000,000,000 / 24,645,600 = 49.4 \text{ min}$

按每次数据采集时间 2h 计算,彩色数据采集需要的硬盘数为  $120 \text{ min} / 28.4 \text{ min} \approx 5$  个硬盘,黑白数据采集需要的硬盘数为  $120 \text{ min} / 49.4 \text{ min} \approx 3$  个硬盘。

### 5 高速数据记录系统的实现

数据记录系统也包括两个子系统,彩色 CCD 数据记录系统由五个硬盘组成;黑白 CCD 数据记录系统由三个硬盘组成。因为硬盘数量多,需要电源的功率大,存储系统采用单独开关电源

供电。为便于机载遥感试验结束后进行地面数据处理, 机箱内配置直流和交流两种电源(选用 ACE-716A 和 ACE-716C 两种交直流输入开关电源)。

SCSI 硬盘在安装时不需要设计类似 IDE 硬盘的主从概念, 而是通过 ID 来区别。因此每个 SCSI 硬盘必须有自己的 ID。可以选择从 0 ~ 15 范围内的 SCSI ID。SCSI 卡的 ID 为 7, 因此 SCSI 硬盘的 ID 不能分配为 7。通过在 SCSI 硬盘上设置跳线来设置其 ID。

SCSI 硬盘之间的连接采用 68 针 320MB/s 带 3 头或者 5 头(彩色 5 头, 黑白 3 头)的 LVD 扁平双绞线内置电缆。由于传输过程中不可避免地存在着噪声和信号衰减, 为了提高总线传输距离, 增大信号抗干扰能力, 采用 LVD 技术。LVD 是以 2 条信号线为一组进行信号传输的, 其中一条处于高电位, 另一条处于低电位。在双方都受到干扰时, 能够将干扰部分互相抵消而保持正常的数据传输。LVD 方式发挥作用的前提是必须保证两条线与干扰源的距离相等, 因此两条信号线须捆绑在一起, 做成双绞线型。

当 SCSI 总线速率提高时, 传输电缆成为传输线, 因为信号衰减和反射等因素, 可能造成电子信号的减弱, 使数据出错的可能性加大。因此, 电缆的特征阻抗必须与发射和接收电路的阻抗相匹配, 否则将产生信号反射, 造成信号损失和变形。信号衰减取决于电缆长度和规格, 是一个固定的量值。双绞线紧紧地但不变形地绞合在一起, 可以减少串扰。传播延时和信号歪斜受绝缘材料和导线绞合的影响。导线绞合引起的双线长度不一和电介质变形、电介质常数的变化、导体和介质间的空气间隙以及由于电缆本身造成的双线长度不一都会反过来影响信号歪斜。数据时钟出错的可能性将随着延时和信号歪斜的增加而增加。因此选用高质量的电缆对数据的传输、系统的稳定都是非常重要的, 是数据正确传输、保证信号完整性必不可少的前提因素之一。

终结器是 SCSI 的一个重要特性, 代表 SCSI 总线的结束, SCSI 总线上最前和最后两台 SCSI

设备都要设置终结器。中间设备不能设置终结器, 一旦使用了终结器, SCSI 卡就无法找到以后的 SCSI 设备。当信号到达 SCSI 总线的一端, 一部分信号失真被反射时, 会产生往返振荡。终结器就用来衰减反射或“往返振荡”的信号。有时候不用终结器也能正常工作, 但将导致突发性的数据错误和莫名其妙的系统失败。因此 SCSI 总线起始两端都要加终结器。在 SCSI 总线的起始端, SCSI 卡检测到 SCSI 电缆线与它自身 SCSI 接口相连时, 自动将 16bit 宽的 SCSI 总线的高位和低位字节设置为终结状态。在 SCSI 总线的末端, 使用带终结器的 LVD 电缆来实现终结。

## 6 系统验证

为了验证整个系统性能, 确保系统能够完成 CCD 相机的高速图像数据存储, 且不发生丢帧现象, 利用 VC++ 进行二次开发, 编制程序, 持续地向硬盘中写入固定序列(例如整数序列, 每次写入 1MB)的数据, 记下每次写入固定序列需要的时间, 用这个时间计算出硬盘写入时的连续数据传输率。当一个硬盘写满时, 自动转入下一个硬盘。测试结果如图 2 所示。

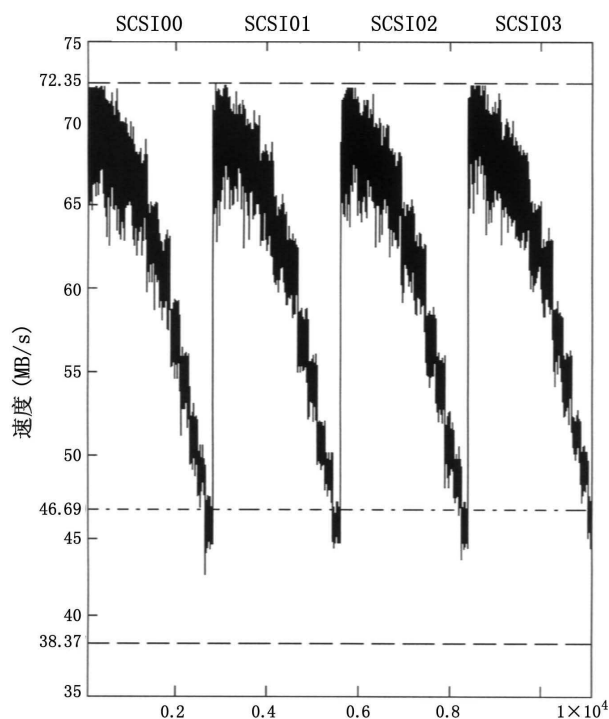


图 2 SCSI 硬盘的连续数据传输速率图



图 3 采集到的图像数据 (经过几何精校正)

SCSI 硬盘的数据传输速率由主轴转速、寻道时间、内部缓存、单碟容量等诸多因素决定。由于现在计算机硬盘都采用区域恒角速度 (ZCAV) 技术 [3]，即根据硬盘磁道距转轴距离的不同来改变每个磁道的扇区数，以提高硬盘的容量。这使得硬盘数据传输率随写入或读出硬盘地址

的不同而不同。因此在每个 SCSI 硬盘刚开始记录数据时，硬盘的速度最快，随着数据不断写入硬盘，数据传输率越来越小。从测试结果可以看出，最高数据传输率达 72MB/s，最低达 45Mb/s 左右，这样的数据传输率可满足彩色和黑白 CCD 相机高速数据存储的需要。

在机载飞行后，利用彩色 CCD 图像数据前面的序列号，对采集到的数据进行丢帧检测，图像数据序列号连续，循环递增，示例图像 (采集后经过几何精校正的图像) 如图 3 所示，表明 CCD 高速数据存储系统符合设计要求，达到了预期目标。

### 参考文献

- [1] National Instruments Corporation，什么是 PXI？——PXI 技术指南。
- [2] 曾峦，熊伟，赵忠文．基于 SCSI 总线的超高速实时图像数据存储系统 [J]．单片机及嵌入式系统应用，2001，12: 56-58.
- [3] 王福文，郭微光，周智敏．高速数据录取系统中的硬盘性能研究 [J]．计算机应用，1999，5: 9-10.

## 国外专利介绍

### 微型高分辨率多光谱物镜

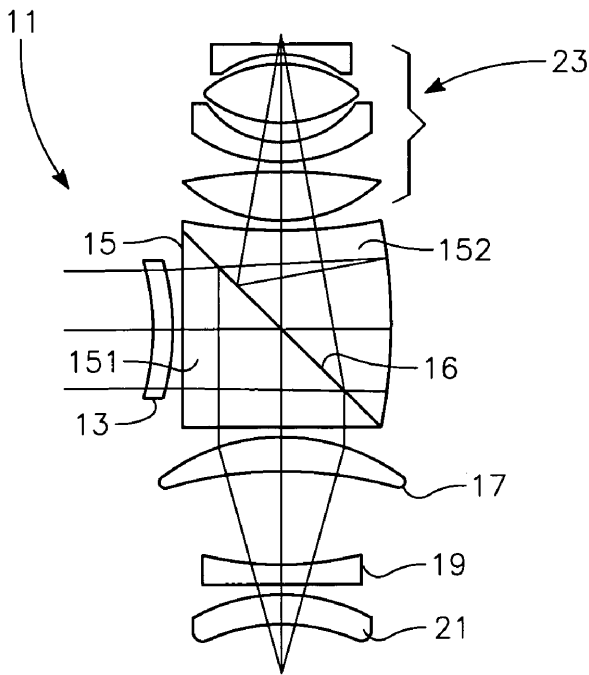
美国专利 US6999231

(2006 年 2 月 14 日授权)

红外焦平面传感器是通过来自目标的红外光进行成像而发现目标的。由于不同的物质会以不同的方式与光相互作用，加上不同的大气条件会以其独特的方式阻碍若干个波长的透射，所以如果能对红外光谱中的许多个不同波长或谱区进行成像，那是非常理想的。

本发明提供一种多光谱物镜，它是将两个不同的光路同一个新颖的分束棱镜结合在一起的。这里，我们将两个光路分别称为“短波红外臂”和“长波红外臂”。这两个臂共享同一个主光学透镜 (13) 和同一个棱镜 (15)。这两个元件都是用硒化锌光学材料制作的。与接收装置分开的光学元件将短波红外光成像到一个焦平面上，同时将长波红外光成像在另一个焦平面上，从而实现实时成像和传感器融合。

本专利说明书共 6 页，其中有 3 张插图。



高 编 译