

# 高速 TDICCD 遥感相机成像采集与判读系统\*

刘春香 李 宁 石俊霞 张择书 郭永飞

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 长春 130033)

**摘要:** 为了适应 TDICCD 航天遥感相机向着高分辨率、宽视场方向发展,所带来的数据量巨大、像元时钟越来越高,设计了一套先通过降频方式,再选用双通道 Cameralink 图像采集卡来实现的高速 TDICCD 航天遥感相机成像采集与判读系统。针对 TDICCD 遥感相机输出图像的时序,采用先对两路图像数据分别进行降频,接着采用支持双 BASE 模式的 Cameralink 图像采集卡采集图像。最后在某遥感相机平台上进行了验证。本系统可实现对双路像元时钟 140 MHz,行频 14 kHz,位宽 12 bit 的图像进行连续、无丢失的采集、显示、存储,以及对图像进行全自动判读和计算多种指标。本系统工作稳定,准确高效,便携节能,适合外场实验。

**关键词:** 信息处理技术;TDICCD;成像指标计算;高速图像采集与判读

**中图分类号:** TN911.73 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.5015

## High-speed imaging collection and judge system of TDICCD remote-sensing camera

Liu Chunxiang Li Ning Shi Junxia Zhang Zeshu Guo Yongfei

(Changchun Institute of optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Science, Changchun 130033,China)

**Abstract:** In order to adapt the situation that TDICCD aerospace remote-sensing camera's huge amount of data and increasing the pixel clock because of it toward resolution, wide-field direction, a high-speed TDICCD aerospace remote-sensing camera imaging acquisition and judge system that reduce the frequency and use double-channel Cameralink card was designed. Firstly, image output timing of TDICCD camera was given. And then, the original two channels image was reduce the frequency, the Cameralink image acquisition card that support for dual BASE mode collected image. Finally, one TDICCD camera testing was done. This system can realize the dual channels pixel frequency 140 MHz, line frequency 14 kHz, 12 bit image acquisition, display and storage. It can automatically judge image and calculate various images indicators, judge and calculation are accurate and fast, it greatly improves the efficiency and avoids wrong justice. The developed highspeed imaging acquisition and judge system is stable, portable and energy saving, that is suitable for field experiments.

**Keywords:** information processing technology; TDICCD; imaging index calculation; high-speed image collection and judge

### 1 引言

TDICCD(time delay integrate charge coupled device)是以线阵推扫模式工作的面阵 CCD,它以行的形式输出图像<sup>[1-3]</sup>。由于它的特点是成像质量和动态范围高<sup>[1]</sup>,成为高分辨率、宽视场航天遥感相机的最佳选择。

随着需求的不断提高,分辨率越来越高,视场越来越宽,带来了遥感图像数据量成倍增加<sup>[4-5]</sup>。目前单通道遥

感图像像元输出时钟有的甚至超过 150 MHz,这对遥感相机成像采集设备提出了非常高的要求<sup>[6-7]</sup>。而目前市场上多数 LVDS 图像采集卡的像元时钟速率为最高达 80 MHz 左右,少数可以达到 130 MHz 的 LVDS 图像采集卡因为价格昂贵,考虑到成本,也很少使用。本文所研究的成像采集系统所针对的航天遥感相机,像元数量多,像元时钟频率达 140 MHz 以上,输出图像的数据量非常大<sup>[9-11]</sup>。原有的成像采集系统体积相当庞大,移动困难,功耗非常高,

收稿日期:2015-03

\* 基金项目:国家自然科学基金(61405191)项目

都是对相机输出的图像直接进行采集,采集频率只能达到110 MHz,已经不能满足高速航天遥感相机的发展需要。

为了适应 TDICCD 航天遥感相机向着高分辨率、宽视场方向发展,所带来的数据量巨大、像元时钟越来越高,设计了一套基于双通道 Cameralink 采集卡先将频再复原的高速 TDICCD 航天遥感相机成像采集与判读系统。本文采用先对遥感相机原始输出图像进行降频处理,再采用

支持双 BASE 模式的 Cameralink 图像采集卡将降频后的图像整合为原始图像。最后对某航天遥感相机进行了采集实验,给出了分析和结论。

## 2 TDICCD 相机输出图像时序

如图 1 所示为 TDICCD 相机成像系统。

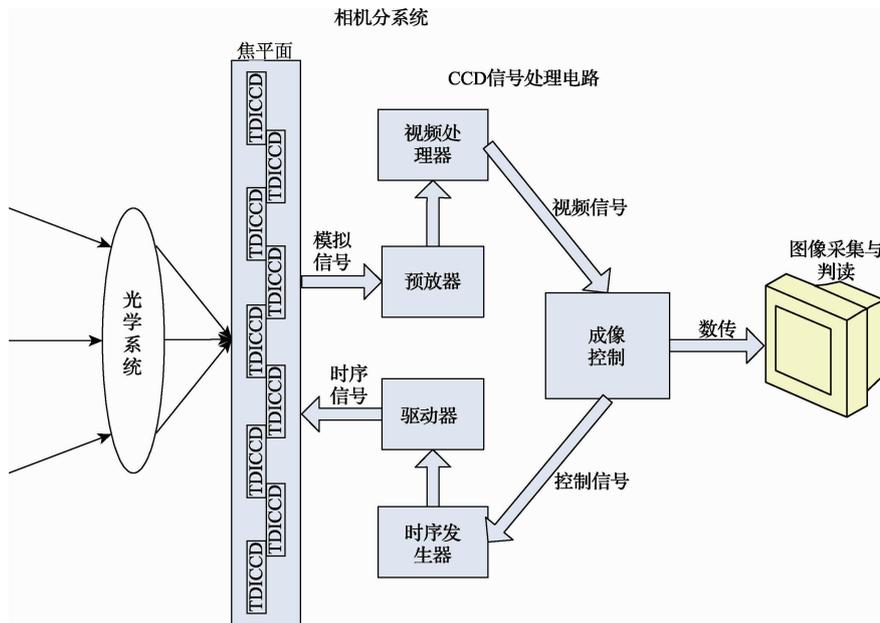


图 1 TDICCD 相机成像系统

TDICCD 航天遥感相机的焦平面是由多片 TDICCD 拼接而成。模拟 CCD 信号先经过预放大器放大后,再输入到视频信号处理器进行 A/D 转换,视频信号处理器同时具有增益和偏置的调节作用。最后,输出 12 bit 的全色图像和 4 bit 的多光谱图像到成像采集与判读系统,进行图像的采集、显示、存储与判读。如图 2 所示相机输出图像的时序。

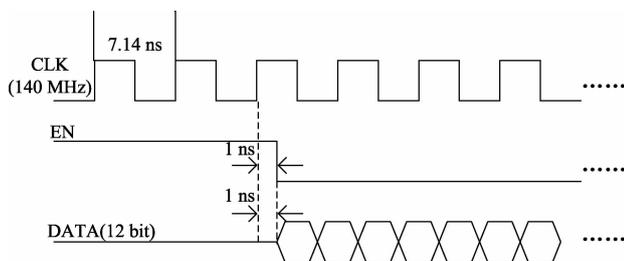


图 2 相机输出时序

相机像元时钟(CLK)频率为 140 MHz,图像有效信号(EN)‘0’为有效,像元时钟上升沿超前或者滞后数据有效下降沿小于等于 1 ns。

## 3 系统硬件实现

TDICCD 遥感相机调试中,需对相机输出的图像进行存储、判读、显示以及多种图像指标的计算,设计的成像采集与判读系统硬件如图 3 所示。

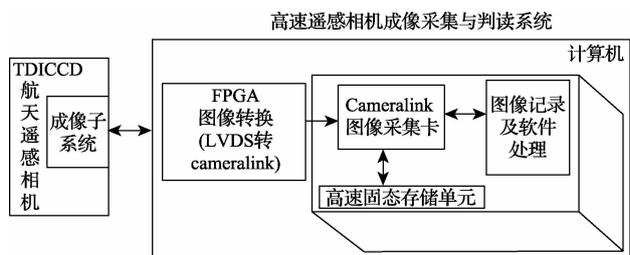


图 3 系统硬件

如图 3,相机的成像子系统以差分信号形式输出一路 140 MHz 12 bit 的全色图像,和一路 140 MHz 4 bit 的多光谱图像。首先在图像转换板内 FPGA 内进行多光谱图像的整合,然后在 Cameralink 图像转换芯片内将全色和多光谱图像转换成 Cameralink 信号输出,进行后续处理。

高速图像采集与判读系统的 FPGA 采用 Xilinx 公司的 XC3S2000-TQ144, 它的资源非常丰富, 有 2M 的 System Gates, 720 Kbits 的 BRAM<sup>[9]</sup>。Cameralink 图像转换芯片选择 DS90CR287, 图像转换电路实物如图 4 所示。



图 4 FPGA 硬件电路实物

相机以差分信号输出的一路全色图像和一路多光谱分别进入图像转换板内, 在 FPGA 内先将多光谱图像整合成 140 MHz 12 bit 图像输出, 再将一路 140 MHz 的全色图像和一路多光谱图像分别降频为两路 70 MHz 的图像, 送入 DS90CR287 内, 将相机输出图像的时序转换成 Cameralink 图像采集卡的接收时序。FPGA 图像转换板带有 PCI 插卡, 可以直接插入工控机的 PCI 插槽内, 这样固定牢靠, 便于系统集成。

图 5 为图像转换流程图。采集卡接收到图像后, 一方面进行图像的存储; 另一方面进行图像的实时显示、判读以及图像指标的计算。

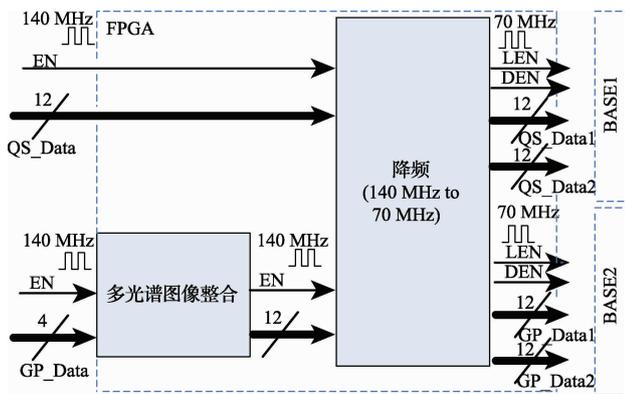


图 5 图像转换流

如图 5 所示, 全色图像 (140 MHz, 12 bit) 和多光谱图像 (140 MHz, 4 bit) 进入 FPGA 内, 首先将多光谱图像整合成完整的图像格式 (140 MHz, 12 bit) 输出。由于 Cameralink 采集卡的传输速度最大为 85 MHz, 将输入到 FPGA 内的全色图像和整合后的多光谱图像分别降频到 70 MHz (12 bit) 分两路输出, 通过 DS90CR287 输入到 Cameralink 采集卡。

选用 Matrox 公司的 SOL2MEVCLBL Cameralink 图像采集卡, 它采用 PCI-E 接口, 支持双 BASE 模式, 可以实现两路双通道 12 bit 数据的采集, 最高采集频率达到 85 MHz, 可达到本文所设计的高速采集的要求。

由于硬盘的读写速度有限, 不能满足 140 MHz 的读写频率要求, 所设计的高速图像采集系统通过一块存储空间为 500 GB 的 PCI-E2.0 接口的固态硬盘 MC2J67MXXX 进行高速图像的存储, 它连续读速率可达 1 850 MB/s, 连续写速率可达 800 MB/s, 平均故障时间 2 000 000 h, 在 25℃ 下可以存放 10 年以上。航天遥感相机每次开机工作时间为 10 min, 数据量大约为 67 GB。在计算机内通过编写软件, 进行图像的实时自动判读, 以及指标的计算。

#### 4 系统软件设计

由于 Cameralink 图像采集卡自带的上位机软件只能实时显示图像、暂停后存储当前帧图像, 不具备实时存储图像的功能, 另外需要将图像的判读与指标计算功能集成于一个软件, 方便使用, 需要对采集卡进行二次开发。系统软件流程如图 6 所示。

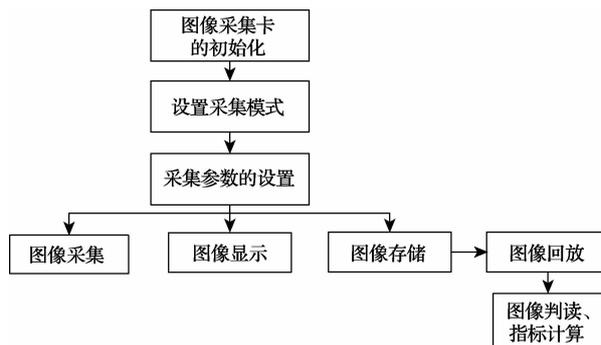


图 6 软件流程

如图 6, 首先进行 Cameralink 图像采集卡的初始化; 然后将 Cameralink 图像采集卡设置成双 BASE 模式, 每路 BASE 设置成双通道 12 bit 采集模式, 将单 BASE 像素频率设置为 70 MHz, 正好可以将降频后的两路 70 MHz 图像信号合并显示为 140 MHz 的完整图像, 软件将 Digitizer 分别设置为 0 和 1, 可以同时实现对全色图像 (140 MHz, 12 bit) 和多光谱图像 (140 MHz, 12 bit) 的采集。接下来进行采集参数的设置, 像元数设置为  $(4\ 096 + 32) / 2 = 2\ 064$  个, 输入信号设置为 LVDS。将采集设置分别保存为全色、DCF 和多光谱、DCF、VC 进行上位机开发时直接调用事先设置好的默认的两个 DCF 文件即可。最后采用多线程方法编程实现图像采集、图像显示、图像存储, 对存储的图像具有回放功能, 并实现对回放图像的判读和图像指标的计算。

数据判读包括辅助数据和图像数据的判读。辅助数据判读是将其与卫星平台发送的数据进行比对, 判断其是否正确。图像数据的判读是通过相机内部成像控制

FPGA输出的自校图形进行判断。

对回放的图像进行指标计算,包括信噪比、调制传递函数、相机像元响应非均匀性、固定图形噪声、暗电流噪声<sup>[10-15]</sup>。

## 5 系统验证与分析

针对某航天遥感相机进行了验证试验,如图7所示。

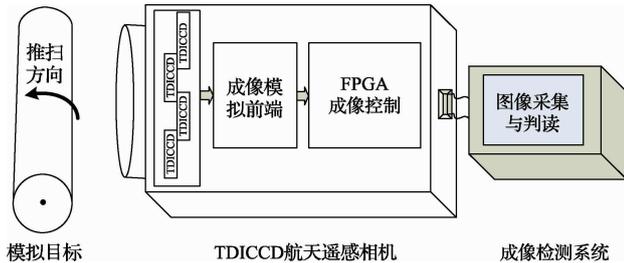


图7 验证平台

如图7,通过调节模拟目标源的转速和进行调焦,模拟目标源通过光学系统在相机的焦平面上清晰成像,最后进入图像采集与判读系统进行图像的存储与判读。

采集的自校图形图像如图8所示。



图8 自校图形图像

如图8所示,采集的是相机成像FPGA内像素值逐一加1的自校图形图像。

应用本系统对某航天遥感相机进行采集与判读测试,判读结果如图9所示。

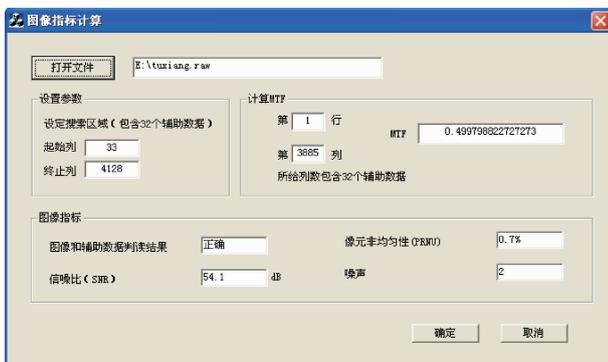


图9 指标测试结果

如图9所示,相机输出的数据正确,相机输出遥感图像的噪声为2个码值,信噪比为54.1 dB,电子学传递函数(MTF)为0.4997满足设计要求。图像非均匀性为0.7%。

经过大量的相机成像实验和长时间的老练实验,本文所设计的高速图像采集与判读系统性能如表1。式(1)为相机工作10 min典型条件下成像数据量。

$$\frac{t}{T_L} \times N_{NUM} \times N_b = \frac{10 \times 60}{70 \times 10^{-6}} \times (4\ 096 + 32) \times 12 + \frac{10 \times 60}{280 \times 10^{-6}} \times (4\ 096 + 32) \times 12 \approx 531\ \text{Gbit} \quad (1)$$

式中: $t$ 为每次相机开机工作的时间, $T_L$ 为相机成像的典型行周期, $N_{NUM}$ 为每行输出的图像数据数量, $N_b$ 为每个图像数据的bit数。

表1 系统性能指标

性能指标	结果
图像的像元时钟频率/MHz	140
图像位数/bit	12
通道数量	2
数据量/Gbit	531
数据判读时间/s	16
指标计算时间/ms	250
稳定工作时间/h	3 000
体积/m <sup>3</sup>	0.5
重量/kg	20
功耗/W	400

如表1所示,本文所设计的高速成像采集与判读系统所能采集的图像像元时钟频率可达140 MHz,可以同时采集两路12 bit的图像数据。相机每次开机工作10 min所需要处理的数据量约为531 Gbit,图像数据判读和计算指定区域图像的指标时间分别为16 s和250 ms。

## 6 结论

本论文设计了一套高速TDICCD遥感相机图像采集与判读系统,该系统利用降频再复原的方法,降低了原有系统高速信号采集带来的成本,同时采集并无丢失存储两路像元时钟140 MHz,行频14 kHz,位宽12 bit的图像,这对以前采集系统110 MHz的采集频率有了很大提高,解决了航天遥感相机快速发展所带来的图像数据量巨大,图像采集的问题。数据的判读可以在20 s内完成,对存储的图像具有回放和计算图像指标的功能;同时该系统更加简洁方便,适合于外场试验,通过软件可以自动进行数据判读,降低了人工判读误判、错判。

本系统的数据采集频率为140 MHz,为了提高数据采集的速度和适应更高频率数据的采集,系统的数据采集频率还有待进一步提高。

## 参 考 文 献

- [1] 刘春香,郭永飞,李宁,等. 星上多通道遥感图像的实时合成压缩[J]. 光学精密工程, 2013, 21(2): 445-453.
- [2] 石俊霞,李佩玥,郭永飞,等. 航天遥感 TDICCD 相机面阵成像模式的实现[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(5): 97-101.
- [3] DILLINGER P, VOGELBRUCH J F, LEINEN J, et al. FPGA-based real-time image segmentation for medical systems and data processing[J]. IEEE Transactions on Nuclear Science, 2006, 53(4): 2097-2101.
- [4] 罗通顶,李斌康,郭明安,等. 科学级 CCD 远程图像采集系统[J]. 光学精密工程, 2013, 21(2): 496-502.
- [5] 程俊,李晓琼,韩杰. 一种基于图像实时反馈的红外探测器光学调校系统[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(2): 296-303.
- [6] LU J, HE B, CONG Y. A new research of sub-pixel level accuracy of tDICCD remote sensing image registration[C]. International Conference on Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering, 2010: 114-117.
- [7] 张磊,何昕,魏仲慧,等. 基于千兆网接口的星敏感器图像显示与存储[J]. 液晶与显示, 2015, 30(1): 114-119.
- [8] 赵恩毅,陈善球,杨平,等. 用于自适应光学系统的 80 bits CameraLink 接口相机优化设计[J]. 光电工程, 2014, 41(9): 87-94.
- [9] 李易难,牛燕雄,杨露. 基于 DSP+FPGA 视频图像处理系统的设计[J]. 电子测量技术, 2014, 37(1): 58-61.
- [10] 千应庆. 基于时分复用的 Cameralink 高清视频光纤传输技术[J]. 光通信技术, 2010, 34(10): 54-56.
- [11] 黄德天,刘雪超,吴志勇,等. 基于 CamereLink 的高速图像采集处理系统设计[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2013, 43(增刊): 309-312.
- [12] 杜丽丽,易维宁,张冬英,等. 基于液晶可调谐滤光片的多光谱图像采集系统[J]. 光学学报, 2008, 29(1): 187-191.
- [13] ROSSI A, DIANI M, CORSINI G. A technique for ghosting artifacts removal in scene-based methods for non-uniformity correction in IR systems[C]. SPIE Europe Security + Defence International Society for Optics and Photonics, 2009: 74810N-74810N-9.
- [14] ZHU H Y, XUE X CH, MA T B, et al. Correction of the non-uniformity for multi-TDICCD mosaic camera on FPGA[C]. 2010 International Conference on E-Product E-Service and E-Entertainment, 2010: 3180-3183.
- [15] 李宁,刘春香,王弟男,等. 便携式 TDICCD 遥感相机成像检测系统设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(7): 730-735.

## 作 者 简 介

**刘春香**, 1983 年出生, 工学博士, 助理研究员。主要研究方向为光电成像、图像处理等。

E-mail: yu\_hit2007@163.com

**李宁**(通讯作者), 1983 年出生, 工学博士, 助理研究员。主要研究方向为光电成像、辐射特性测量等。

E-mail: ningli521@qq.com

**石俊霞**, 1984 年出生, 工学博士, 助理研究员。主要研究方向为光电成像、电子稳像及精密控制等。

E-mail: 19031121@163.com

**张择书**, 1988 年出生, 工学硕士, 研究实习员。主要研究方向为光电成像、图像处理等。

E-mail: zhangzeshu1988@qq.com

**郭永飞**, 1961 年出生, 工学博士, 研究员。主要研究方向为光电成像、CCD 成像电子学等。

E-mail: guoyf@ciomp.ac.cn