

文章编号: 1672-8785(2014)08-0010-05

基于 FPGA 的短波红外探测器 配置方法研究

马 飞 刘 琦 樊 奔 王 鹏

(北京空间机电研究所, 北京 100094)

摘 要: 针对 InGaAs 短波红外探测器的配置需求, 提出并设计了基于现场可编程门阵列 (Field Programmable Gate Array, FPGA) 的短波红外探测器配置方法。以 FPGA 作为核心处理器, 利用 VHDL 语言实现了短波红外探测器的配置功能。通过 RS-232 接口, 可与上位机进行通信和在线发送及调整探测器输出数据的顺序等参数, 并通过指令切换探测器的积分之后读出 (Integrate Then Read, ITR) 工作模式和积分同时读出 (Integrate While Read, IWR) 工作模式。实际应用表明, 本文的配置方法能够使短波红外探测器正常工作, 能够灵活调整工作模式和配置参数, 满足短波红外探测器的实际应用需要。

关键词: 短波红外探测器; 配置方法; FPGA

中图分类号: TN215 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2014.08.003

Research on Configuration Method of Shortwave Infrared Detector Based on FPGA

MA Fei, LIU Qi, FAN Ben, WANG Peng

(Beijing Institute of Space Mechanics and Electricity, Beijing 100094, China)

Abstract: According to the configuration requirement of an InGaAs shortwave infrared detector, a FPGA-based configuration method for the shortwave infrared detector is proposed. Taking a FPGA as a core processor, the configuration of the shortwave infrared detector is implemented in VHDL language. A RS-232 interface is used to communicate with the host computer, to send and adjust the parameters such as the data output order of the detector online and to send the instruction for switching the Integrate Then Read (ITR) and Integrate While Read (IWR) operation modes of the detector. The practical application shows that the configuration method can make the detector operate well and adjust the operation mode and configuration parameters of the detector flexibly. It meets the practical configuration requirements of the shortwave infrared detector.

Key words: shortwave infrared detector; configuration method; FPGA

0 引言

InGaAs 短波红外探测器可以穿透阴霾、薄雾和烟雾, 看清目标的细节, 提供可见光、中波和长波红外成像所不能提供的信息^[1]。采用

InGaAs 探测器的短波红外成像仪具有体积小、重量轻、可与可见光谱段共用镜头及与可见光成像仪互为补充等优点, 能够实现可见光和中长波红外成像不能实现的功能, 因而具有重要的

收稿日期: 2014-06-17

作者简介: 马飞 (1985-), 男, 吉林永吉人, 工学硕士, 工程师, 主要从事视频电子学方面的研究。

E-mail: mafei118121@sina.com

应用价值^[2,3]。

与 CCD 器件相比, 短波红外探测器不需要根据具有严格相位关系的时序驱动信号进行工作, 但为了使其能正常工作, 需要通过配置接口向其发送满足规定格式要求的配置数据, 并通过配置数据来调整其工作状态与工作参数。因此, 能否正确有效地对短波红外探测器进行配置是短波红外探测器能否正确工作的关键。

本文通过对短波红外探测器工作模式的研究和对配置方法的分析, 采用 FPGA 作为处理器, 利用 VHDL 语言实现了短波红外探测器的配置。该配置方法能够使探测器在 ITR 模式和 IWR 模式下正确工作, 并能够实现在线调整增益和像元读出顺序等功能。

1 探测器的工作模式

InGaAs 短波红外探测器具有 ITR 和 IWR 两种工作模式。两种工作模式都包括三个相同的工作过程, 即复位、积分和读出。每个工作过程的开始与结束都由配置指令码控制, 配置指令码包括复位指令、开始积分指令、开始读出指令和读出结束指令四种。

如图 1 所示, ITR 工作模式是按复位工作过程、积分工作过程和读出工作过程的顺序进行的。在一个行周期内, 它首先向探测器发送复位指令, 开始复位工作过程; 间隔一段时间后, 再发送开始积分指令, 以结束复位工作过程并开始积分工作过程; 经过相应的积分时间间隔后, 发送开始读出指令, 结束积分工作过程并开始读出工作过程; 在保证所有像元数据都被读出后, 发送读出结束指令, 完成像元的读出。至此完成了对探测器在一个行周期内的配置操作。以后的每个行周期均重复相同的配置操作。

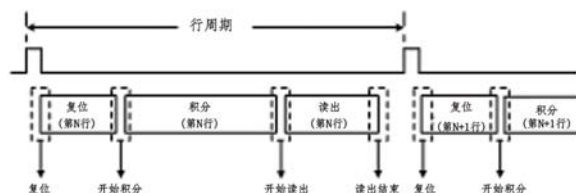


图 1 ITR 工作模式的示意图

IWR 工作模式如图 2 所示。其读出工作过程在时间上与复位工作过程和积分工作过程相重叠。在一个行周期内, 它首先发送开始读出指令, 启动读出工作过程, 开始读出上一行周期内产生的像元数据; 然后在读出过程进行的同时发送复位指令, 开始当前行周期内的复位工作过程; 间隔一段时间后, 发送开始积分指令, 以结束复位工作过程并开始当前行周期内的积分工作过程。积分工作过程在下一行周期的开始读出指令发送时结束。

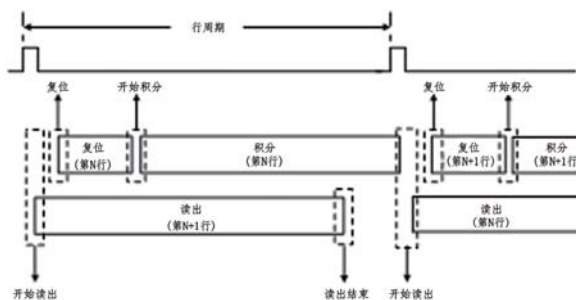


图 2 IWR 工作模式的示意图

ITR 工作模式和 IWR 工作模式的区别在于:

(1) ITR 工作模式中, 复位、积分和读出三个过程按顺序进行, 读出过程在积分过程之后。IWR 工作模式中, 读出过程与复位过程和积分过程在时间上有重叠。

(2) ITR 工作模式中, 首先发送复位指令, 然后按顺序发送开始积分指令、开始读出指令和读出结束指令。IWR 工作模式中, 首先发送开始读出指令, 然后按顺序发送复位指令、开始积分指令和读出结束指令。

(3) ITR 工作模式中, 积分工作过程在发送当前行周期的开始读出指令时结束; IWR 工作模式中, 积分工作过程在发送下一行周期内开始读出指令时结束。因此, 一般来说, 在行周期时间相同的情况下, IWR 工作模式的积分时间比 ITR 模式的积分时间要长。

(4) ITR 工作模式在当前行周期内读出像元信息; IWR 工作模式在当前行周期内读出上一行周期内产生的像元信息。

无论 ITR 工作模式还是 IWR 工作模式，为确保探测器正确工作，都需要向探测器发送相应的配置指令。所以如何正确有效地对探测器进行配置是探测器能否正常工作的关键。

2 配置方法分析及设计实现

2.1 配置方法分析

本文所用 InGaAs 短波红外探测器的配置接口没有采用传统的标准 SPI 接口，而是采用一种数字控制接口 (Digital Control Interface, DCI)。如图 3 所示，DCI 接口包括时钟 (Master Clock, MCLK)、片选 (Chip Select, CS) 和指令数据 (Command Address Data, CmAD) 三类信号。

MCLK 是配置的主时钟信号，其频率与像元时钟同频。CS 信号在高电平有效，才会对所对应的 CmAD 信号进行写入操作。CmAD 信号采用一组 4 比特的总线，用复用的方式表示配置指令、寄存器地址和写入相应寄存器的数据。在配置过程中，采用时钟上升沿和下降沿同时有效的工作模式，在时钟的上升沿发送配置指令，在时钟下降沿发送寄存器地址或数据。

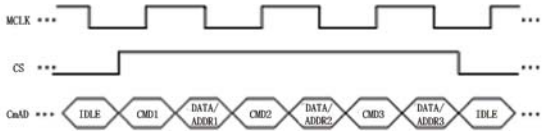


图 3 数字控制接口的时序图

表 1 配置指令表

指令名称	指令参数	地址 / 数据	说明
空闲 (IDLE)	“ 0000 ”	“ 0000 ”	总线空闲
加载低位地址 (LAL)	“ 0001 ”	配置寄存器地址低 4 位	
加载高位地址 (LAH)	“ 0010 ”	配置寄存器地址高 2 位	
保持地址写 (WRH)	“ 0011 ”	写入当前地址的数据	写操作完成后地址保持
增加地址写 (WRI)	“ 0100 ”	写入当前地址的数据	写操作完成后地址加 1
复位地址写 (WRR)	“ 0101 ”	写入当前地址的数据	写操作完成后地址归 0

配置指令包括空闲、加载低位地址、加载高位地址、保持地址写、增加地址写和复位地址写六种，每种配置指令的功能见表 1。对探测器的配置过程就是通过将相应的配置指令和对应的寄存器地址或数据交替发送到探测器的过程。例如，图 3 中 CS 为高时对应的 6 个 4 比特的参数，若分别是 0x1、0xA、0x2、0x1、0x4 和 0x5，则对应的操作是向地址 0x1A 寄存器中写入参数 0x5，写操作完成后地址指针加一，指向地址 0x1B。

在 ITR 和 IWR 工作模式下，复位、开始积分、开始读出和读出结束各过程所需 4 比特参数的个数见表 2。

2.2 FPGA 设计实现

根据短波红外探测器的配置方式，利用 VHDL 语言实现探测器配置逻辑的编写。所用

表 2 各工作过程所需参数的个数

工作模式	复位	开始积分	开始读出	读出结束
ITR	72	54	54	18
IWR	84 或 86	44	52	40

FPGA 芯片能够满足短波红外探测器配置逻辑设计以及图像数据处理逻辑设计中所需要的逻辑资源。短波红外探测器配置的逻辑流程如图 4 所示。

上电或复位以后，等待接收 RS-232 指令，并进行指令解译。若无指令，则按默认状态进行工作，即按 ITR 工作模式对探测器进行配置。若指令要求为 ITR 工作状态，则发送 ITR 配置参数；若指令要求为 IWR 工作状态，则发送 IWR 配置参数；若指令为单独调整某个寄存器的参数，则发送相应寄存器的地址和参数调整值。

最后利用指令的状态信息调整输出选择模块, 输出相应的配置码流。

ITR 配置参数发送模块的逻辑流程与 IWR 配置参数发送模块的基本相同, 如图 5 所示。ITR 工作模式与 IWR 工作模式的配置参数存储在 FPGA 内部 ROM 中。ROM 读使能与读地址生成模块, 根据 ITR 和 IWR 工作模式下 4 段配置码流的输出顺序与配置参数的个数, 在每个行周期内产生 4 段读使能和读地址信号, 从 ROM 中读出相应的配置参数并输出结果。

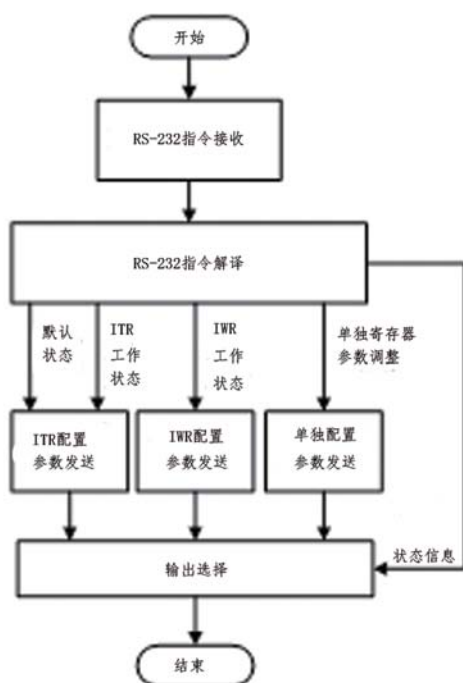


图 4 探测器配置的逻辑流程图

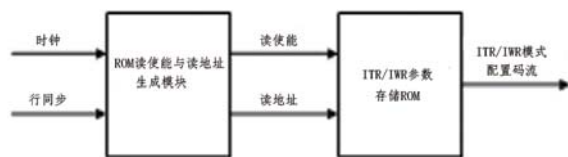


图 5 ITR/IWR 工作模式下配置参数发送模块的逻辑流程图

单独配置参数发送模块的逻辑流程如图 6 所示。要调整的寄存器地址和数据信息通过 RS-232 指令解译模块解码后, 被以参数的形式发送给写使能、写地址和写入数据生成模块。该模块产生写时钟、写地址和使能信号, 将参数以写数

据的形式存储到 FPGA 内部的 RAM 中。RAM 读时钟与读地址生成模块在当前行周期内产生读时钟和读地址信号, 从 RAM 中读出寄存器参数调整配置码流, 通过输出选择后发送给红外探测器的 DCI 接口。



图 6 单独配置参数发送模块的逻辑流程图

3 测试分析

短波红外探测器配置功能的测试包括逻辑仿真和硬件电路成像功能测试两部分。

逻辑仿真测试在 ModelSim 6.4 仿真环境下进行, 对 VHDL 逻辑代码进行行为级的仿真测试验证, 确保逻辑行为的正确性。ITR 工作模式下的仿真波形如图 7~ 图 9 所示。

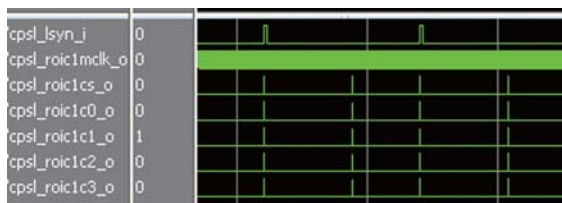


图 7 ITR 模式下 DCI 接口的时序仿真波形图

图 7 中, 左侧框选出区域包括 DCI 接口片选信号 cpsl_roic1cs_o 的三段高电平, 分别对应 ITR 工作模式下的复位、开始积分和开始读出三个工作过程, 其放大波形如图 8 所示。

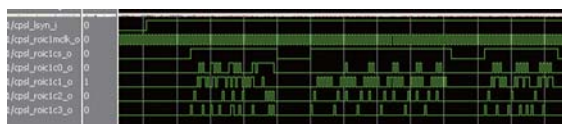


图 8 ITR 模式下复位、开始积分和开始读出过程的仿真波形图

图 7 中, 右侧框选出来的区域包括 DCI 接口片选信号 `cpsl_roic1cs_o` 的一段高电平, 其对应 ITR 工作模式下的读出结束工作过程, 放大波形如图 9 所示。

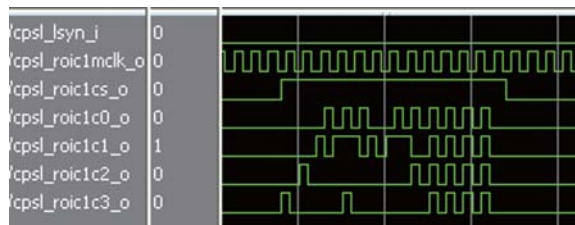


图 9 ITR 模式下读出结束过程的仿真波形图

由图 7 ~ 图 9 可知, 在每一个行周期内, FPGA 软件能够按照约定好的格式要求, 正确地向短波红外探测器发送满足配置要求的配置码流, 而且驱动 DCI 接口的信号时序关系满足要求。

对硬件电路的成像功能进行测试时, 把处理后的短波红外探测器图像数据发送到上位机, 通过上位机图像采集软件观测成像结果, 如图 10 和图 11 所示。



图 10 ITR 模式下的正序输出图像



图 11 ITR 模式下的逆序输出图像

图 10 为通过 DCI 接口向短波红外探测器发送图像数据正序输出指令后所成的图像, 图 11 为发送图像数据逆序输出指令后所成的图像。比较图 10 和图 11, 可以明显看出, 指令正确响应。该结果表明, 本文提出的配置方式能够正确提供 InGaAs 短波红外探测器的 DCI 接口的驱动时序, 并能使探测器正确成像。

4 结论

通过对短波红外探测器工作模式的研究和对配置方法的分析, 采用 FPGA 作为核心处理

器, 利用 VHDL 语言实现了短波红外探测器的配置。通过 RS-232 接口向 FPGA 发送指令, 能够实现探测器 ITR 模式和 IWR 模式调整和像元读出顺序调整等功能。实际应用表明, 本文提出的配置方法能够正确驱动所用 InGaAs 短波红外探测器的 DCI 接口, 向探测器提供满足格式要求的配置码流, 使探测器正确成像。

参考文献

- [1] 姜伟, 黄巧林. 航天光学遥感 InGaAs 短波红外成像应用技术 [C]. 厦门: 第二十三届全国空间探测学术交流会, 2010.
- [2] 陈洪钧, 周航宇. InGaAs 可见 / 短波红外焦平面探测器新进展 [J]. 红外与激光工程, 2007, 31(1): 35-39.
- [3] 丁佳, 张树群, 黄泳, 等. 高精度数据采集系统在近红外光谱测量仪中的应用 [J]. 光学仪器, 2009, 15(11): 1415-1418.
- [4] 徐振亚, 白晓东, 李丽娟. 基于作用距离的红外探测系统工作波段选择方法 [J]. 红外, 2011, 32(3): 23-28.
- [5] 潘建旋, 以善珍, 周航宇. InGaAs 短波红外探测器 [J]. 红外与激光工程, 2007, 36(Z1): 202-205.
- [6] 徐蒙, 冯旗, 危峻. 短波红外传感器的信噪比计算 [J]. 红外, 2006, 27(12): 29-30.
- [7] 齐卫红, 尉昊珊, 阴丽娜. 大气成分探测红外光谱仪系统指标分析 [J]. 航天返回与遥感, 2013, 34(5): 36-45.
- [8] 龚海梅, 刘大福. 航天红外探测器的发展现状与进展 [J]. 红外与激光工程, 2008, 37(1): 18-24.
- [9] 龚海梅, 邵秀梅, 李向阳, 等. 航天先进红外探测器组件技术及应用 [J]. 红外与激光工程, 2012, 41(12): 3129-3140.
- [10] 苗丽峰, 徐茜, 张明涛, 等. 基于 ACTEL FPGA 短波红外成像系统设计与研究 [J]. 红外技术, 2008, 30(11): 621-625.
- [11] 黄常钊, 张树群, 姚立军, 等. 近红外探测器数据采集系统的设计 [J]. 应用光学, 2011, 32(1): 138-143.
- [12] Gong H M, Tang H J, Li X. Near-infrared InGaAs FPA's for Space Applications [J]. Infrared and Laser Engineering, 2009, 38(4): 574-582.
- [13] 邵秀梅, 李淘, 邓洪梅, 等. 平面型 24 元 InGaAs 短波红外探测器 [J]. 红外技术, 2011, 33(9): 501-504.