

文章编号:1001-5078(2007)增刊-0985-05

读出电路数字模块设计

沈 晓^{1,2}, 丁瑞军¹

(1. 中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要: 文章介绍了一个读出电路的数字控制模块。该模块集成了众多的控制功能, 包括积分时间的调控, 对面阵中指定窗口的读出, 并能够支持快照读出模式和滚动读出模式之间的选择。文章中详细介绍了实现窗口功能和滚动功能的算法; 电路的整体结构及端口时序, 并给出了整个系统的仿真结果; 最后采用上海集成电路设计中心提供的 $0.6\mu\text{m}$ 双硅双铝标准单元库对本设计进行了电路综合, 并对本设计的版图规划和实现进行了简略的说明, 验证了将该设计向大规模读出电路上集成的可行性。

关键词: 读出电路; 红外焦平面; 数字驱动

中图分类号: TN391; TN79

文献标识码: B

Digital Module Design of Readout Circuit

SHEN Xiao^{1,2}, DING Rui-jun¹

(1. Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: In this paper, a digital control module of readout circuit is presented. This module can provide many functions, such as reading out the pixels of a assigned window only. It also supports the selection between snapshot mode and rolling mode. Details of the arithmetics and the structure of the module are described. Finally, layout of the module is synthesized, which validates the feasibility of integrating this module on large scale readout circuit.

Key words: ROIC; infrared focal plane array; digital drive

1 引 言

红外焦平面是一种集光电转换和信号处理于一体的固体光电摄像器件, 它主要由探测器阵列和读出电路构成。随着红外探测器工艺的成熟, 探测器阵列的规模不断的扩大。对于大面阵器件而言, 窗口功能以及滚动读出模式的实现变得愈发的重要。

窗口功能就是对大面阵探测器中指定的窗口内的像元进行读出。如果单像元读出时间一定, 窗口尺寸的缩小可以缩短读出时间进而提高帧频。该功能可以有效地应用于预警系统: 在未发现目标时进行全面阵的读出, 以保持大视场, 当发现目标后, 首先确定出足够的视场, 然后应用窗口功能对该视场所对应的窗口进行读出, 从而得到更高的图像刷新率。

积分模式控制分为快照模式和滚动模式。快照模式, 工作过程中各像元的积分同时开始同时结束,

只要读出还在进行, 任何一像元都不能进行积分。在快照模式下探测器读出帧频为:

$$f = 1 / (\text{积分时间} + \text{读出时间})$$

滚动模式, 当一行读出完成后立即对该行进行复位和积分, 积分是一行一行开始的, 在积分的同时可以对非积分行进行读出。在滚动模式下探测器读出帧频为:

$$f = 1 / \text{帧读出时间}$$

相对于快照读出模式, 滚动模式可以得到更高的帧频, 特别是当帧读出时间与积分时间相当时, 滚动读出模式的优势尤为明显。

读出电路的数字控制部分主要是提供积分信号、复位信号以及行移位时钟和列移位时钟。本文

作者简介: 沈 晓 (1981 -), 男, 博士研究生, 主要从事红外焦平面读出电路数字控制模块的研究。E-mail: shenxiaojob@126.com

收稿日期: 2007-06-19

介绍了一个焦平面数字控制模块的设计,该模块除了可以有效的实现窗口功能外,还可支持滚动读出模式和快照读出模式的选择,以及图像翻转等功能。

2 电路逻辑设计

2.1 窗口功能设计

窗口功能的实现分为两个部分。

(1) 获取窗口尺寸和标志窗口起始位置的“一位热码”

首先以串行接收的方式从系统外接收到窗口的左下角坐标(X_1, Y_1)和右上角坐标(X_2, Y_2)。再做减法得到窗口在行方向列方向上的尺寸:

$$\text{dimension_r} = Y_2 - Y_1; \text{dimension_c} = X_2 - X_1;$$

为了获取标志窗口位置的行“一位热码”,要知道行移位方向,同时在硬件上还需要一个移位寄存器和一个计数器。首先根据移位方向从 Y_1, Y_2 中选出一个行坐标。例如如果是从下到上读出,则选出 Y_1 。然后将移位寄存器的第一位置为 1,其余位置为零;将计数器置零。比较计数器中的数与 Y_1 ,如果不等则对计数器累加 1,同时移位寄存器向高位移动,重复该过程直至计数器中的数与 Y_1 相等,此时移位寄存器中存储的就是标志窗口起始位置的行“一位热码”。用同种方式可以得到标志窗口起始位置的列“一位热码”。

(2) 让“一位热码”中的“1”在窗口内按指定的频率和方向移位

如图 1 所示,寄存器组 stored_r 和 stored_c 分别寄存 dimension_r 和 dimension_c ;寄存器组 one_hot_r 和 one_hot_c 分别寄存标志窗口起始位置的行、列“一位热码”; shift_r 和 shift_c 是移位寄存器,由它们直接发出行选和列选信号; count_r 和 count_c 为计数器,记录行列移位数。

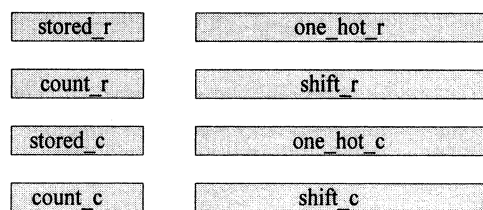


图1 移位单元内部寄存器组

在读出开始之前, count_r , count_c , shift_r , 和 shift_c 都被清零;读出开始后,将 one_hot_r , one_hot_c 中的值并行置入 shift_r 和 shift_c ;判断 count_c 和 stored_c 是否相等,如果不等,则在下一时钟到来时 shift_c 向指定的方向移位,同时 count_c 累加 1;重复该操作直至 count_c 与 stored_c 相等;此时窗口

内当前行的所有像元都已读出完毕,判断 count_r 和 stored_r 是否相等,如果不等则在下一时钟延到来时将 count_c 清零,将 one_hot_c 的值再次置入 shift_c , count_r 累加 1,同时 shift_r 向指定方向移动,然后重新开始对 count_c 和 stored_c 的判断,即对窗口内新的一行进行读出;重复该过程,直到 count_c 和 stored_c 相等且 count_r 和 stored_r 相等,此时窗口内的所有像元都已读出完毕;判断窗口内第一行像元的积分是否已经完成,若未完成,则将 count_r , count_c , shift_r , shift_c 全部清零,等待积分完成了再读出;若第一行积分已经完成,则将 count_r , count_c 清零,同时分别将 one_hot_r 和 one_hot_c 中的值置入 shift_r 和 shift_c ,直接进行下一帧数据的读出。

2.2 积分模式控制设计

在快照模式下,采用一个全局信号启动全面阵的积分,启动后用一个计时器进行积分计时,计时完成后,再用一个全局信号终止全面阵的积分,完成快照功能。

实现滚动读出模式的核心在于如何实现积分。在滚动模式下,为了能够在读出的同时对非当前读出行进行积分,必须为每一行单独提供一个积分信号。但从硬件的角度考虑,不可能为每一行提供一个计时器进行积分计时。分析滚动模式下的工作状态,对某行的复位和积分是紧随着对该行的读出的,所以相邻行积分开始时间相差一个行读出时间,相邻行积分结束时间也相差一个行读出时间。这样只需要三个计时器,一个对积分时间计时,另外两个对行读出时间计时就可以解决问题。为了说明方便,假设探测器阵列只有 64 行,且行读出方向为由上至下,算法原型如图 2 所示。

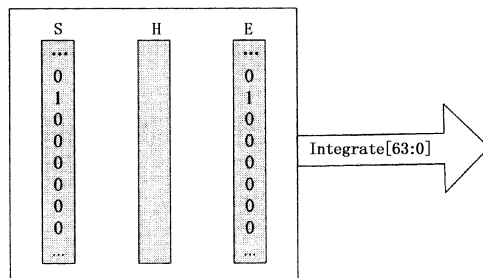


图2 积分算法原型

S 和 E 是 64 位的移位寄存器,分别由其指示每行的积分开始(start)和积分结束(end);

H 是一个 64 位的寄存器组,其作用是保持(hold) $\text{integrate}[63:0]$ 的输出。H 的寄存器行的方程为 $H_{\text{next}} = (H | S) \& ! E$;

$\text{integrate}[63:0]$ 中的 64 位直接控制 64 行的积

分,高电平代表积分正在进行,低电平代表没有积分。

integrate 是 S,H,E 的逻辑函数,逻辑方程为:

$$\text{integrate} = H_{\text{next}} = (H \mid S) \& ! E;$$

控制过程如下:

在积分开始前,S,H,E 各位均为零,当第一行积分开始时,将“行一位热码”置入 S;同时开始积分计时和 S 的行读出时间计时。由 integrate 的逻辑方程可知,此时,integrate 中与窗口第一行对应的位为 1,其余位为 0;当 S 的行读出时间计时完成后,S 向下移动一位, $S_{\text{next}} < = S > > 1$;则 integrate 中与窗口第二行对应的位变为 1;由于 H 的保持作用,integrate 中与窗口第一行对应的位仍为 1;此后每隔一个行读出时间,S 就向下一位,启动新一行的积分,直到窗口最后一行积分开始,然后对 S 进行清零。

在第一行积分启动的同时,积分计时也被启动。当积分计时完成后,将“行一位热码”置入 E,同时启动 E 的行读出时间计时。由 integrate 的逻辑方程可知,此时 integrate 中与窗口第一行对应的位变为 0,第一行积分结束。由于相邻行积分结束相差一个行读出时间,所以每隔一个行读出时间,E 就向下移动一位, $E_{\text{next}} < = E > > 1$,结束一行的积分。当最后一行积分结束时,立即对 E 进行清零。

这种算法最大的优点就是对积分开始的控制和积分结束的控制是相互独立的。这大大减少了积分模块中寄存器的行为种类。由于使用的寄存器的行为种类较少,该算法大大减轻了后端版图生成时的布线压力。

3 电路结构及仿真

3.1 电路结构

图 3 所示为整个数字电路的 7 个子模块以及它与外界相关的接口。

receiver 模块,从外界串行接受数据,这些数据包括窗口的左下角和右上角坐标、积分时间、读出模式和读出方向。这些数据可以一次性全部输入,也可以以预先定义的几种组合方式输入。例如如果仅仅需要对读出窗口进行调整,那么只输入新的窗口坐标即可。receiver 会根据输入的数据位数,对其身份进行判断。如果输入数据的位数有误,receiver 会发出 error 信号,并要求重新输入。如果输入无误,receiver 会将接受的数据连同其身份以并行

的方式传送到 processor。

processor 模块,从 receiver 处接收到信号后,会根据其身份判断是否有必要对数据进行预处理,如果有必要,就进行处理。预处理的结果主要为窗口尺寸,和标志窗口移位起始位置的行、列“一位热码”。

common_stored 模块,是一个纯粹的寄存器组,其唯一的功能就是存储“行一位热码”、窗口尺寸、行移位方向和积分时间。这些数据 resetting,integrating 和 shifting 都会用到。common_stored 的设立更多的是出于简化版图的需要。

shifting,integrating,reseting 三个模块,分别以“一位热码”的形式提供读出的行、列选择信号,以及各行的复位和积分信号。

controller 模块,对各子模块的工作状态进行监控,并对外报告一些必要的信息。

start 是整个系统的启动信号。在整个系统上电完成,并且 rst 信号释放(低电平)后,由 start 信号启动积分 -> 读出 -> 复位循环。updating 对外报告数据更新的情况,当 updating 为高时,在下一个时钟活动延,系统完成数据更新,并开始按照新输入的数据进行读出。indicating 指示模拟输出端输出的有效性,高电平时输出有效,低电平时输出无效。p_last_shift_end 是读出的帧结束信号,p_r_end 是读出的行结束信号。

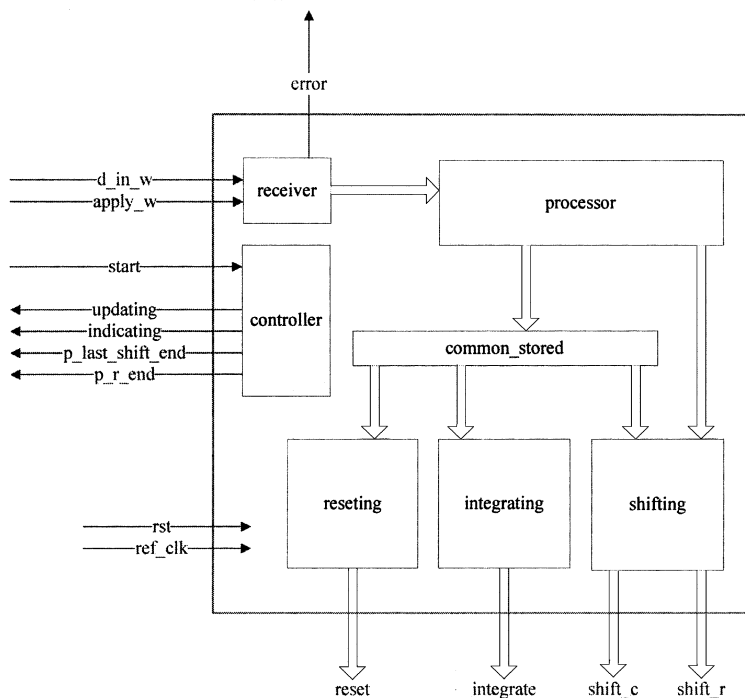


图 3 电路结构

3.2 仿真结果

根据图3所示的电路结构,采用 verilog 对各模块进行代码编写,并完成了对各子模块的验证^[1]。

以下是 integrating 子模块的一段代码:

```
module integrating ( integrate, p _
first_integrate_end, p_last_integrate_end,
...
rst,ref_clk );
...
integrate_c shen ( datainputing_s,
datainputing_e,shielding,
...
rst, ref_clk );
integrate_d1 xiao1 ( integrate, one_hot_row_w,
dir_row_w,
...
rst,ref_clk );
integrate_d2 xiao2 ( mode_w2, eq_integrate,eq_
sc, eq_sr, eq_ec,eq_er,
...
rst,ref_clk );
...
endmodule
```

integrate_c 是 integrating 子模块内部的控制器,由它直接控制 integrate_d1,integrate_d2 的行为,同时 integrateing 子模块与总控制器 controller 之间的通讯也由它完成。integrate_d1 负责产生直接控制每行积分的 integrate[63:0] 信号。integrate_d2 负责行读出时间计时和积分计时。图4是该模块的仿真波形,从中可以清楚地看到相邻行积分的开始相差一个行读出时间,积分的结束也相差一个行读出时间。

对整体电路进行验证,测试激励的编写模仿系统最典型的运行过程,首先让系统在快照模式下对全面阵进行读出,然后将读出模式切换为滚动模式,最后让系统在滚动模式下对一指定窗口内的像元进行读出。图5为整体仿真波形,由图可知在快照模式下,indicating 不是持续的高电平,不能够连续的输出数据,不同帧数据间必须间隔一个积分时间。在滚动模式下,indicating 信号为持续的高电平,数据连续输出,并且在每一帧数据的结尾处会有一个 p_last_shift_end 下降沿信号作标记。当更新了窗口

数据,让系统只对某一窗口内的像元进行读出时,帧频会提升。在图5中表现为 p_last_shift_end 信号的下降沿之间的距离变短。

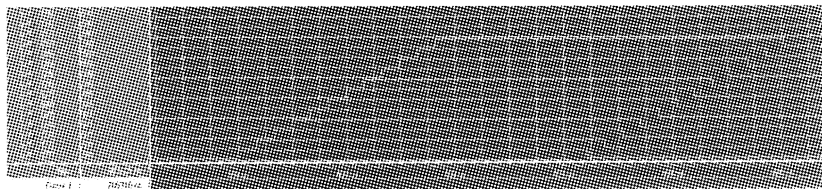


图4 integrating 子模块仿真波形

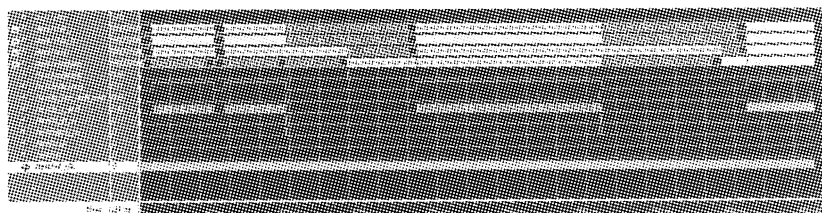


图5 整体仿真波形

4 电路版图综合

图6为读出电路的基本结构,数字部分分布在电路的两个边上。图中 shift_mc 为 shifting 模块中产生列选信号的部分;row_3m 为 shifting 模块中产生行选信号的部分和 common_stored,reseting,integrating 三个模块的集合,它分别为每一行提供行选信号,复位信号和积分信号;other 为 receiver 模块和 controller 模块的集合。由各模块的功能可知,other 部分的面积不大,并且与电路规模基本无关,而 processor,shift_mc,和 row_3m 的面积对电路规模十分敏感。

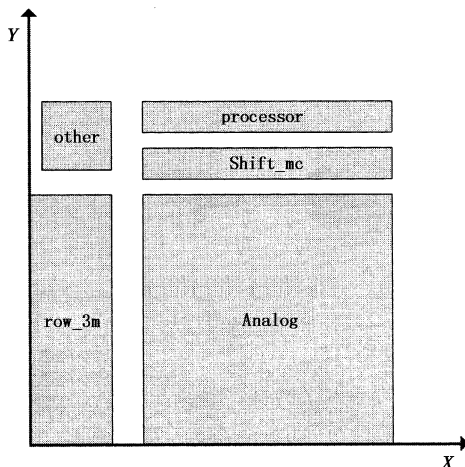


图6 读出电路版图结构

采用上海集成电路设计中心提供的 csmc06core 标准单元库,对 processor,shift_mc 和 row_3m 这三个模块进行了电路和版图的综合^[2],电路规模分别为 320 × 256,640 × 480,使用的 EDA 工具为 synopsys 的 Design compiler 和 Astro。我们假设光敏元的尺寸为 30 μm × 30 μm。具体结果如表1和表2所示。

表 1 320 × 256 规模下各数字模块尺寸

module	x_dimension	y_dimension
Analog	9600	7680
processor	9597	468
shift_mc	9597	500
row_3m	1558	7840

表 2 640 × 480 规模下各数字模块尺寸

module	x_dimension	y_dimension
Analog	19200	14400
processor	19348	468
shift_mc	19300	516
row_3m	1503	14517

由表 1 和表 2 可知,虽然 processor, shift_mc, row_3m 的面积对电路规模很敏感,但 processor 和 shift_mc 在 y 方向的尺寸基本不随电路规模的变化而改变。这两个模块在 y 方向上的尺寸和大致为 1mm。row_3m 在 x 方向上的尺寸也基本不随电路规模的

变化而改变,它在 x 方向上的尺寸大致为 1.6mm。因此该设计可以灵活地扩展,并集成到大规模读出电路上,它并不会给整个版图带来太多的面积压力。

5 结 论

本文介绍了一个读出电路的数字控制模块设计,该模块可以有效地实现窗口功能和滚动读出方式。以 320 × 256, 640 × 480 的电路规模为例对该模块进行了电路和版图综合,综合结果证明将该模块扩展并集成到大规模读出电路上是可行的。该模块不会为读出电路芯片带来面积压力,并且对提高读出电路操作的灵活性以及读出帧频有着显著效果,十分适合向大面阵读出电路上集成。

参考文献:

- [1] Michael D Ciletti. Verilog HDL 高级数字设计[M]. 北京:电子工业出版社,2004:187-196.
- [2] Neil H E. CMOS 大规模集成电路设计[M]. 第3版. 北京:机械工业出版社,2005:502-532.

现代科技 光电子信息 内容丰富 开卷有益

敬请订阅《激光与红外》杂志(月刊)

《激光与红外》杂志是中国光学光电子行业协会、电子工业激光与红外专业情报网、中国电子学会量子电子学与光电子学分会的联合刊物,国内外公开发行。报道以激光与红外为重点的光电子技术及应用领域的科技进展、新技术成果等。主要栏目有:综述与评论、激光技术、红外技术、光电材料器件、光学元件与材料、光纤技术、图像与信号处理、市场动态、企业介绍、行业概况等。是国内本专业创刊最早的刊物之一。本刊为中国科技论文统计源期刊、中文核心期刊,并被“中国期刊网”、“中国科技期刊(光盘版)”、“万方数字化科技期刊群”、“中文科技期刊数据库”和美国 CA、中国台湾华艺等数据库全文收录。

本刊为月刊,大 16 开本,2008 年每期定价 12.5 元,全年定价 150 元。

订阅办法:可在全国各地邮局订阅,邮发代号 2-312。也可直接向本刊编辑部订阅。汇款方式:开户行:中国工商银行北京市望京支行营业部,帐号:0200003509089113201,户名:《激光与红外》杂志社;邮局汇款请寄:北京 8511 信箱,激光与红外杂志社收,邮编:100015。

欢迎投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告

通信地址:北京市 8511 信箱《激光与红外》杂志社

邮编:100015

电话:010-84321112

传真:010-64387667

E-mail: paper@laser-infrared.com jgyhw@ncrileo.com.cn