

注：四川省科技支撑计划项目（项目编号：2011GZ0249）

摘要：以 ILX554B 线阵 CCD 为例，分析了该电荷耦合器件的工作原理及驱动时序，介绍一种线阵 CCD 光谱测量系统的驱动电路的设计方法。设计主要包括 ILX554B 线阵 CCD 驱动电路和输出信号处理电路。结果表明，各项参数及指标均符合实际工作需要。此设计发挥了单片机的优势，使驱动具有方便、灵活、可靠性高、成本低等优点，能够满足 ILX554B 芯片多路驱动时序的要求，已用于 CCD 荧光光谱测量系统中。

关键词：ILX554B；线阵 CCD（电荷耦合器件）；驱动电路；单片机；驱动时序

中图分类号：TP249 文献标识码：A 文章编号：1006-883X（2014）09-0039-05

收稿日期：2014-06-11

线阵 CCD 光谱测量系统的驱动电路设计

邹兴伟

西南科技大学 信息工程学院，四川绵阳 621010

一、引言

近年来随着半导体微电子技术的迅猛发展，国内对电荷耦合器件（Charge Coupled Devices, CCD）的应用也越来越深入、广泛^[1-4]。CCD 作为光电转换式图像传感器，以其灵敏度高、动态范围大、光谱响应宽、体积小、功耗低、分辨率高和采样速度快等一系列特点，目前，CCD 成为现代光子学，光电检测技术和现代测试技术中最活跃的传感器，已经广泛应用于光谱分析领域中^[5-6]。其应用系统的关键技术在于 CCD 驱动信号的产生及输出信号的处理。

本文针对索尼公司的线阵 CCD 芯片 ILX554B 设计了该线阵 CCD 驱动外围电路。它的主要内容包括 CCD 驱动电路和信号输出处理电路，选用 PIC 单片机作为此电路的主控芯片。此设计主要是依靠程序编程直接输出驱动时序信号，利用 CCD 积分时间可调，通过修改程序方便地修改输出时序，突破了传统的设计方法，同时能满足不同测量系统中高速、实时的测量要求。这种方法不仅在结构上最为简单，而且适

用于各种 CCD 芯片的驱动，只需要在程序中修改相应的参数值即可实现，使整个驱动电路编程简便、电路简单，大大缩短调试周期，降低研制成本。

二、线阵 CCD 的器件结构和工作原理

ILX554B 器件内部结构图如图 1 所示。它是索尼公司生产的一款高灵敏度，低暗电流的线阵型 CCD，由 2087 个光电二极管构成的光敏单元阵列，每个光敏单元的大小长为 $14\mu\text{m} \times 56\mu\text{m}$ ，其中前 33 个和

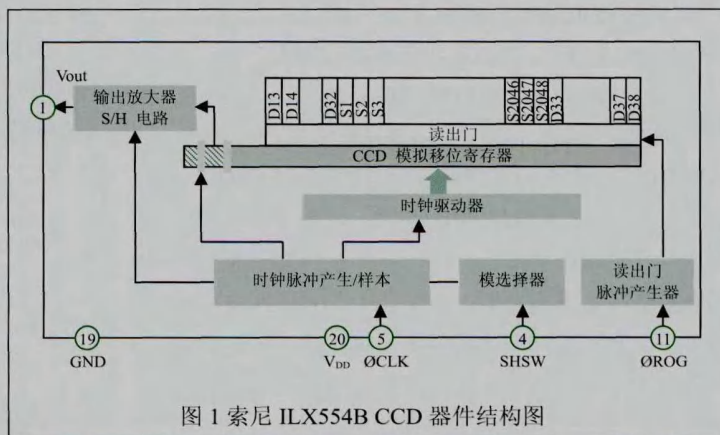


图 1 索尼 ILX554B CCD 器件结构图

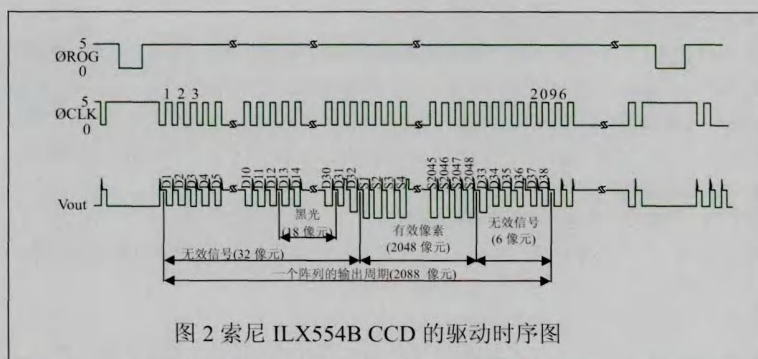


图 2 索尼 ILX554B CCD 的驱动时序图

后 6 个作为暗电流检测而被遮蔽，分别用 D0-D32 和 D33-D38 表示，中间 2048 个光电二极管是曝光像敏单元，用 S1-S2048 表示，光敏单元一侧是存储光生电荷的 MOS 电容阵列，一侧排列的是（由转移栅隔开）CCD 模拟移位寄存器，其工作电压为单一 5V 电源供电，为单相输出的线阵 CCD 器件，是早期 ILX544A 的改进型。输入信号分别为 2 路控制脉冲 ØROG，ØCLK，输出信号为 0.8V~1V 的 V_{out} 。

ILX554B 在如图 2 所示的驱动脉冲下，该 CCD 有两种工作模式，分别为采样保持模式和无采样保持模式，正常工作时只需要 2 个控制信号 ØROG 和 ØCLK 实现对 CCD 器件的控制，ØROG 为控制寄存器电荷转移，设定积分时间的电荷转移信号，ØCLK 为时钟脉冲信号。当 ØROG 处于高电平的时候，CCD 会一直持续进行光积分曝光充电的阶段，此时转移栅关闭；只有当 ØROG 处于低电平的时候，CCD 才停止光积分，并迅速打开转移栅，所有的光敏感元上的信号电荷并行转移到移位寄存器上，然后等到 ØCLK 在上升沿的时候，移位寄存器按位依次将每一个像元的信号电荷转移到一个电容上，从而得到输出的 V_{out} 信号。

根据数据手册给出的性能指标要求^[7]，要满足一定的频率要求，其典型的 ØCLK 时钟脉冲频率为 1MHz，最大不超过 2MHz，也就是要求 ØROG，ØCLK 工作频率范围在 2MHz 以内，只要符合上面的要求就可以该正常的驱动 CCD 工作。图 2 中可以看出 ØROG 高电平长度为积分时间，在这段时间内一行内至少应有能读 2088 个 ØCLK 单位脉冲，它的时序关系也可以由图 2 所示，假如取 CCD 正常工作的频率为 1MHz，不难算出，CCD 一个工作周期内至少需要

2~3ms 时间才能输出 V_{out} 信号。

三、驱动外围电路设计

为了保证线阵 CCD 稳定可靠的工作，必须设计出符合 CCD 正常工作所要求的驱动脉冲和控制电路，只有驱动脉冲与 CCD 良好的配合，才能充分发挥 CCD 的光电转换功能。

1、驱动脉冲的时序分析

正确分析各个驱动时序的先后关系式进行高精度 CCD 驱动脉冲设计的前提。ØROG，ØCLK 同步时序关系如图 3 所示，驱动脉冲的先后时序关系指标如表 1 所示。

由图 3 可以看出 ØROG 的脉宽时间等于 $(t_6+t_7+t_8)$ ，由表 1 可以得出其最小值为 1000ns，典型值为 5000ns，所以 ØCLK 脉宽大于等于 ØROG 的转移脉宽满足表 1 的时序要求，其中 t_6 的最小值为 0ns，而 t_5 最小值也为 0ns，故驱动脉冲 ØCLK 与 ØROG 的起始时序对 CCD 正常工作没什么影响。

结合图 2 和图 3 所示，可以得知该 CCD 典型的启动信号为 11μs。其时序图可以看出，当 ØCLK 为高电

表 1 驱动脉冲的时序关系指标

参数	变量	最小	典型值	最大	单位
ØROG, ØCLK 脉宽时间 1	t_5	0	3000	-	ns
ØROG, ØCLK 脉宽时间 2	t_9	1000	3000	-	ns
ØROG, 脉冲上升 / 下降时间	t_6, t_8	0	10	-	ns
ØROG, 脉冲周期	t_7	1000	5000	-	ns

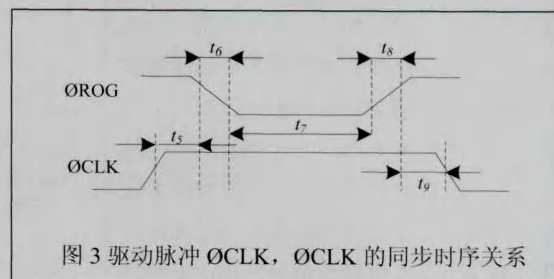


图 3 驱动脉冲 ØCLK, ØCLK 的同步时序关系

平并持续 $t_5=3\mu\text{s}$ 的时间后, $\emptyset\text{ROG}$ 信号须由高电平变成低电平并且至少持续 $t_7=5\mu\text{s}$, 而 $\emptyset\text{CLK}$ 信号在 $\emptyset\text{ROG}$ 信号返回高电平后继续持续 $t_9=3\mu\text{s}$ 变成低电平, 并在此后开始产生 1MHz 的时钟信号给 CCD 。

对于触发延迟时间, 经研究发现^[8], $\emptyset\text{ROG}$ 信号低电平脉宽的大小 (t_7) 对 CCD 的影响不大, 只需大于其最小脉宽 $1\mu\text{s}$, 因此可以将触发信号用于直接触发 $\emptyset\text{ROG}$ 的上升沿, CCD 的实际启动时刻应该是在 $\emptyset\text{ROG}$ 信号由低变高的那一刻, t_9 的 $3\mu\text{s}$ 已经进行光积分了。这样一来, CCD 的启动时间就缩短到了几个指令周期的时间范围, 也就 $200\sim 300\text{ns}$, 可以忽略不计, 另外可以通过修改程序的积分时间来达到触发延迟时间这个问题。

2、驱动脉冲的产生

(1) 驱动电路的连接

从单片机输入输出端口 RG14 , RG15 输出的脉冲驱动 CCD 正常工作, 其产生 4 路信号大致过程: 先由单片机内部时钟提供 1MHz 的基准脉冲作为 RG14 端口的 CLK 时基信号, 通过 74LS121 (具有施密特触发功能的单稳态触发器) 进行占空比调节产生两路相位相反的输出信号 Q 与 $\bar{Q}$, 一路经过 TC74HC04P 和 74LS00 组成的相位调节电路进行相位调节, 通过改变 R_x 和 C_x (x 为常数) 的值形成满足后续采样电路相位要求的 RS 控制脉冲信号, 另一路进行 74LS121 , TC74HC04P 和 74LS00 满足的相位调节电路进行相位调节, 通过改变 R_x 和 C_x (x 为常数) 的值形成满足后续采样电路相位要求的 A/D 采样脉冲信号。 ROG 驱动脉冲信号由单片机的 RG15 端口输出, ROG 信号和 CLK 信号脉宽的大小通过单片机软件编程来调整。

(2) CCD 输出信号外围电路

因为 CCD 输出的信号通常比较微弱, 为了充分利用到 A/D 转换的满量程

分辨率, 就十分需要对输入信号进行放大, 信号滤波则根据香农定理的要求。考虑到 A/D 的转换速率, 对输入信号的带宽进行限制, 以防止采样信号产生“混叠现象”^[10]。

ILX554B 具有高信噪比, 低暗电流, 敏感波长范围适宜的特点, 它的输出信号是一组高背景, 低反差的信号, 其动态范围比较宽, 在日光灯照射下, 它输出的最大饱和电压为 1V , 因此需要对 CCD 输出信号进行处理。在信号进行放大时, 根据 A/D 输入的范围进行适当放大, 并去除干扰噪声。该 CCD 输出信号外

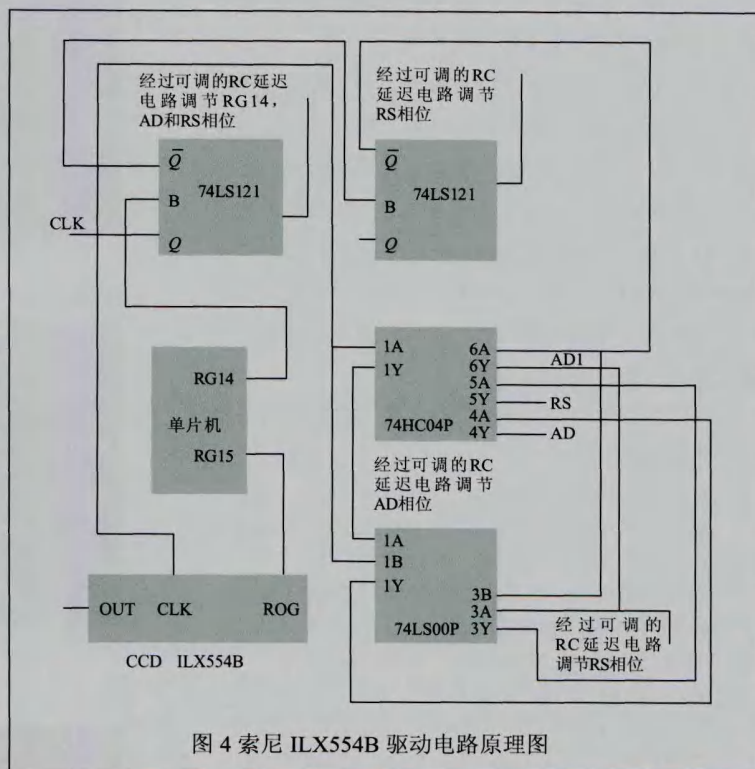


图 4 索尼 ILX554B 驱动电路原理图

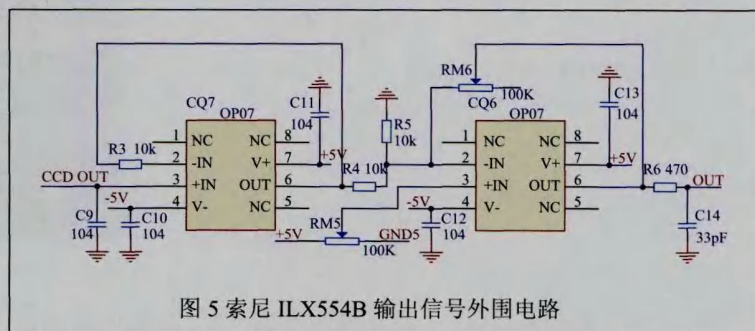


图 5 索尼 ILX554B 输出信号外围电路

围电路如图 5 所示。

(3) 软件设计及结果显示

单片机是靠指令产生 I/O 口的输出逻辑状态来产生驱动时序，由于 ILX554B 的典型时钟频率是 1MHz，这样对单片机的速度就有一个最低要求，所以要实现这种驱动必须使用指令周期小于 $1\mu s$ 的单片机。为此，此设计选用是 dsPIC 单片机^[9]，驱动控制芯片为 disPIC30F6014A，该单片机内带 144KB 的片内 Flash 存储器，有 16×16 位工作寄存器阵列，有 5 个 16 位定时器 / 计数器，高达 30 MIPS 的工作速度，工作频率可达 40MHz。它的最大优点表现在功能强，具有低功耗工作方式，外围配置简单，提高了整机的可靠性，并且具有较强的抗干扰性，完全符合要求单片机的最低要求。外部时钟信号作为单片机的基准脉冲信号，其它时序信号的产生都是以此为基础，首先定义两路驱动脉冲对应单片机 I/O 端口输入输出的关系，然后通过编程产生 CCD 输入两路驱动脉冲信号 $\emptyset ROG$ ， $\emptyset CLK$ ，再通过改变程序指令的延时来确定两路驱动脉冲信号的时序关系，最后经过驱动控制芯片接到 CCD 对应管脚上。

下面给出两路驱动脉冲的端口定义及产生两路信号的部分程序代码。

ILX544B-CCD 驱动模块：

#define ILX554B_CLK LATGbits.LATG14 定义时基信号为 RG14 为 ILX544B 基准脉冲 CLK 口

#define TRISG14 TRISGbits.TRISG14 输出方向控制

#define ILX554B_ROG LATGbits.LATG15 定义时基信号为 RG15 为 ILX544B 读 ccd ROG

#define TRISG15 TRISGbits.TRISG15 输出方向控制

ILX554B 端口配置：

TRISG14=0; 设置为输出

TRISG15=0; 设置为输出

ILX554B_CLK=1;

ILX554B_ROG=1;

产生两路驱动脉冲信号 $\emptyset ROG$ ， $\emptyset CLK$ ：

ILX554B_CLK=0; t_5+t_6

for(k=0;k<2;k++); 延迟 2ms

ILX554B_CLK=1;

for(x=0;x<3;x++); 延迟 3ms

ILX554B_ROG=0;

for(x=0;x<13;x++); t_7

ILX554B_ROG=1;

for(y=0;y<3;y++); t_8+t_9

CCD 相关时序关系通过示波器可以看出各路驱动信号的波形图如图 6、7、8 所示，经过调试，观察与说明书所给的相关参数进行对比，所显示的波形均满足 CCD 正常驱动的要求。

四、结论

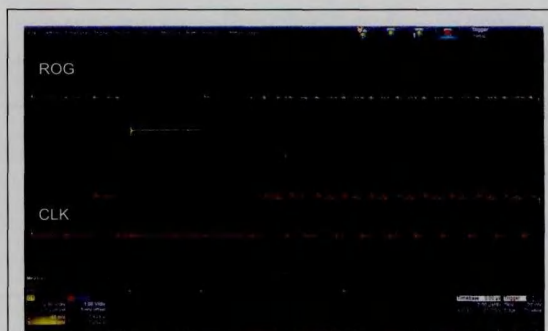


图 6 $\emptyset ROG$ ， $\emptyset CLK$ 的驱动脉冲时序图



图 7 CCD 原始 V_{out} 及处理后 V_{out} 的波形图

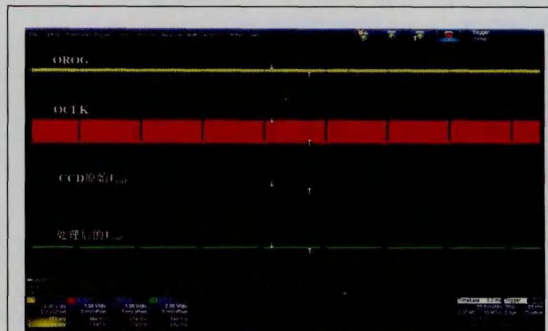


图 8 从上到下依次为 $\emptyset ROG$ ， $\emptyset CLK$ ，CCD 原始 V_{out} ，处理后 V_{out} 的波形图

本文通过对 ILX554B 线阵 CCD 的器件结构和工作原理进行详细地阐述和介绍,又着重分析了索尼 ILX554B 线阵 CCD 的驱动脉冲时序特点,研制出了以 dsPIC30F6014A 主控芯片为核心的 CCD 驱动外围电路,并进行了示波器在线测试时序波形图,结果表明,本文所设计的 CCD 驱动外围电路满足 ILX554B 芯片驱动时序的要求,具有结构简单,可在线编程,实用性强,体积小,性价比高特点^[1],最大的一个特点就是不需要很深的相关专业知识,很容易,对于不同型号的 CCD 只需改变软件和外围电路的一些参数即可,即通用性强,这也为 CCD 的广泛应用提供很大方便,目前已成功应用于 CCD 荧光光谱测量系统的硬件电路中。

参考文献

- [1] 石宝松,孙守红,张伟.CCD在便携式光谱分析中的应用[J].电子测量技术.2010,33(11):84-86.
- [2] 赵振方,刘治华,李建鹏.一种新型 CCD 的驱动时序产生方法[J].机床与液压.2010,38(22):92-94.
- [3] 孟继轲.基于单片机的线阵 CCD 驱动设计[J].太原科技大学学报.2007,28(6):483-486.
- [4] 姬先举,温志渝.基于 CPLD 的光积分时间可调线阵 CCD 驱动电路设计[J].传感技术学报.2009,19(5):1781-1784.
- [5] 石宝松.线阵电荷耦合器件在光谱分析仪设计中的应用[J].分析仪器.2010(1):28-30.
- [6] 黄振宇,孙利群.基于线阵 CCD 的小型光谱仪光度特性研究[J].应用光学.2007,28(5):565-568.
- [7] Sony ILX554B Image Sensor Datasheet[Z].
- [8] 冯为蕾,王福娟,曾万祺,黄国梁,王自鑫,周建英,蔡志岗,应用于 LIBS 的 CCD 光谱测量系统[J].激光与光电子学进展.2013,50:13002-1
- [9] Microchip Technology Inc dsPIC30F6014A Datasheet 2006 [Z].
- [10] 刑留记,常敏,穆平安.基于 PIC18F66 的滤光片颜色特性检测仪设计[J].仪表技术.2010(10):49-51.
- [11] 王庆有.图像传感器应用技术[M].北京:电子工业出版社,2003.

Design of a peripheral driving circuit for linear CCD spectral measurement systems

ZOU Xing-wei

(College of Information Engineering, Southwest University

of Science and Technology, Mianyang 621010, China)

Abstract: In this paper, taking linear CCD ILX554B as an example, the working principle and driving timing of CCD are introduced. A peripheral driving circuit for linear CCD spectral measurement system is given, which includes driving circuit and output signal processing circuit of linear CCD ILX554B. The experiment results show that the parameters of the driving circuit can meet requirements of practical application. This design makes full use of the advantages of single chip microcomputer, and has some merits of convenience, flexibility, high accuracy and lower cost. The circuit can meet the requirements of multipath driving timing of ILX554B. The circuit designed in this paper has been used to the CCD fluorescence spectrum measuring system.

Keywords: ILX554B; Linear CCD (Charge Coupled Devices); driving circuit; Monolithic Microcomputer; driving timing

作者简介

邹兴伟,西南科技大学信息工程学院,硕士研究生,主要从事荧光光谱检测技术方面的研究。

通信地址:四川省绵阳市西南科技大学检测技术及应用研究所 407

邮编:621010

Email: 83435209@qq.com