

利用 CPLD 实现数字式太阳敏感器 高精度 CCD 信号源设计

叶虎勇* 席红霞

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

摘 要 CCD 信号源是数字式太阳敏感器进行电性能测试的主要设备。其主要功能是模拟数字式太阳敏感器的 CCD 探测器和光电池随太阳角度变化的输出信号, 以供太阳敏感器在没有太阳模拟光源的情况下进行各项试验。我们通过采用 CPLD 技术, 使信号源具备了精度高、误差小、结构简单以及可靠性高的特点。

关键词 数字式太阳敏感器 CPLD 串口通讯 CCD 信号源

1 前言

数字式太阳敏感器是卫星上用于精确测量卫星相对于太阳的姿态角度以供卫星姿态轨道控制系统准确调整卫星姿态角度的仪器。我们研制的数字式太阳敏感器具有测量视场和进光视场大、测量精度和分辨率高的特点, 其各项技术指标已经达到国际先进水平。我们在国内首创性地利用三狭缝结构实现了 -64° 到 $+64^\circ$ 太阳角度的高精度测量, 测量误差达到 0.05° 。仪器采用的主要探测器元件为 CCD 器件 (2048×1 线列阵) 和太阳光电池, 其相应波段均为可见光波段。由于受到各项试验条件和试验环境的限制, 在没有或无法使用太阳模拟光源的情况下, 要检测太阳敏感器的电性能, 就必须用 CCD 信号源给太阳敏感器提供模拟 CCD 和光电池的输出信号。而且 CCD 信号源必须根据实际探测器输出信号随太阳角度而变化的情况进行模拟, 并且要求模拟信号具有高的精度。由于太阳敏感器本身测量精度很高 (0.05°), 所以信号源的精度必须更高, 这样, 在太阳敏感器进行试验的过程中, 因信号源带来的误差便可以忽略不计。

大规模可编程集成电路现在已经得到广泛运用。在本课题中, 我们利用 XILINX 公司生产的两片 CPLD 芯片 (XC95108-7PC84) 很简便地实现了 CCD 信号的模拟, 使整个信号源达到了精度和可靠性要求, 同时还使结构变得更加简单, 设计修改变得更加方便。

2 系统要求

数字式太阳敏感器是利用三狭缝结构将太阳成像在 CCD 线列上的。根据成像在 CCD 上的太阳的不同位置, 可判断出太阳的角度。图 1 是三狭缝成像的原理图。

整个仪器由成像狭缝、太阳光电池、线阵 CCD 和信号处理电路构成。其中太阳光电池用来判断太阳光线从哪个狭缝成像到 CCD 上。CCD 信号源的作用是模拟太阳光入射到 CCD 上后所产生的输出信号。

图 2 所示为 CCD 信号源系统的时序。整个信号源系统有两个输入信号 (OXY、RESET2) 和六个输出信号。六个输出信号中的两个为 CCD 信号 (UX 和 UY), 四个为光电池信号。

从图 2 中可以看出, 输入信号 OXY 和 RESET2 的周期分别是 T 和 T/2。输出信号是根据

* 2000 级博士研究生

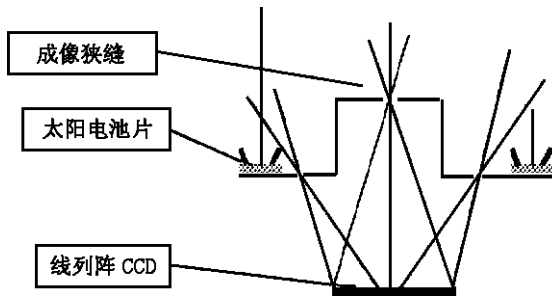


图 1 数字式传感器成像原理图

输入信号的时序关系产生的信号。输出信号 UX 只有当 OXY 信号为高电平和 RESET2 信号为低电平时才会产生两个宽度为 t_2 的高电平脉冲；UY 信号只有当 OXY 信号和 RESET2 信号均为低电平时才会产生两个宽度为 t_4 的高电平脉冲；其中 t_1 、 t_2 、 t_3 和 t_4 的宽度都是由入射到 CCD 上的光线的角度所决定的，其精度都为 100ns。

数字式太阳传感器在用计算 CCD 输出信号中心位置的算法进行计算时，需要提取信号上升沿和下降沿，所以对 CCD 信号源模拟的 CCD 信号的上升沿和下降沿的要求比较高 (150ns)，以满足高精度的需要。 t_1 、 t_2 、 t_3 和 t_4 这四个参数是确定 CCD 输出信号的模拟信号的主要参数。 t_2 、 t_4 的宽度表示一帧 CCD 输出信号中入射光线所成像的宽度， t_1 、 t_3 表示入射光线在 CCD 上所成像的起始位置。 t_1 、 t_2 、 t_3 和 t_4 的值可以根据太阳角度和传感器中 CCD 和狭缝的距离计算得出。

系统要求对每一个太阳角度都要有相对应的 UX 和 UY 输出，同时，UXA、UXB、UYA 和 UYB 这四个光电池模拟信号也必须输出相应的 TTL 高低电平。

3 利用 CPLD 实现系统设计

整个 CCD 信号源系统的设计分成软件设计和硬件设计。主要参数 t_1 、 t_2 、 t_3 和 t_4 的值在计算机中通过软件进行计算。在软件中完成太阳角度计算后，通过 RS-232 串行口把计算结果 (t_1 、 t_2 、 t_3 、 t_4) 传递给硬件系统。CPLD 硬件系统根据计算数值产生相对应的波形，以实现波形的生成。CPLD 具有设计灵活、可多次编程、易于调试和结构简单的特点。

3.1 系统原理

图 3 为 CCD 信号源系统的原理框图。太阳角度输入系统后，软件计算出 t_1 、 t_2 、 t_3 和 t_4 的数值，并将这些数值通过 RS-232 串行口输出给硬件系统。硬件系统首先对传来的数据信号进行电平转换，把 RS-232 电平转换成 TTL 电平，并将电平转换后的数据信号存储在 CPLD 芯片中。等到输入信号 OXY 和 RESET2 信号的时序满足要求时，CPLD 就根据 t_1 、 t_2 、 t_3 和 t_4 的数据值生成四个光电池模拟信号 UXA、UXB、UYA、UYB 和两个 CCD 模拟信号 UX1、UY1。UX1 和 UY1 信号需经过低通滤波形成 UX、UY 信号，然后再与 UXA、UXB、UYA、UYB 一起输出给数字式太阳传感器。

3.2 串口与 CPLD 之间的通讯

串口通讯是整个系统的核心之一，软件计算出的 t_1 、 t_2 、 t_3 和 t_4 数值是通过串口传给硬件系统的。 t_1 、 t_3 各占 2 个 8bit， t_2 、 t_4 各占一个 8bit，总共只有六个 8bit 数据。因此可直接在 CPLD 里开六个 8 比特存储单元以存储这些数

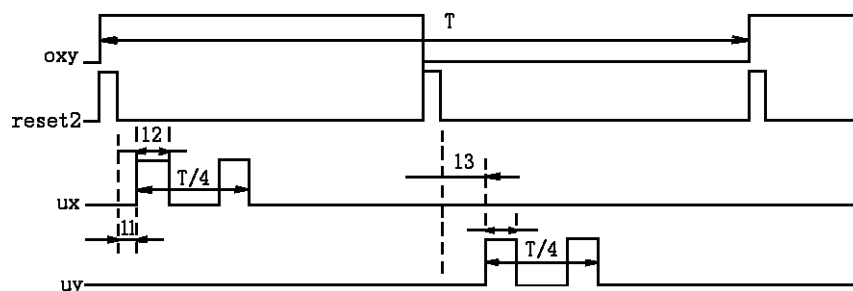


图 2 CCD 信号模拟器时序

据。

计算机串口利用其数字地 (SG)、请求发送 RTS、发送 TXD(即 DATA) 三个信号与 CPLD 进行数据传输。信号 RTS 和 TXD 的时序图如图 4 所示。当开始发送数据时, 在程序中令 RTS 状态发生变化, 数据从 TXD 信号线开始串行发送。由于 RTS 与 TXD 两者信号的变化不同步, 有一定的时间间隔, 不能直接把 RTS 信号的变化当作 CPLD 接收数据的开始。因此, 在发送数据时, 首先发送一个校验数据 t_0 。当 RTS 处于高电平时, 寄存器开始接收数据, 当判断出寄存器的数据为 t_0 时, 才开始接收 t_1 、 t_2 、 t_3 和 t_4 这些数据。最后再加上特定值数据 t_5 以作为整个数据的结束。在硬件中对 t_0 与 t_5 进行校验判断, 如果正确则产生高电平, 使两个 LED 发光。两个 LED 安装在仪器的前面板上, 所以根据前面板的灯是否亮就能够知道数据是否注入。 t_0 同时还能够防止非法的数据输入, 防止外来干扰破坏存储单元里的数据。通过实际使用证明, 此种处理方法简单、有效且可靠。

示。通过对太阳角度 θ 的计算得出的 t_1 、 t_2 、 t_3 和 t_4 的值经 COM 口输出, t_0 为数据头, t_5 为数据结束位。利用 t_1 、 t_3 的高两位储存太阳敏感器两个光电池的四个状态 UXA、UXB、UYA、UYB 的高低电平分别用 1、0 表示。

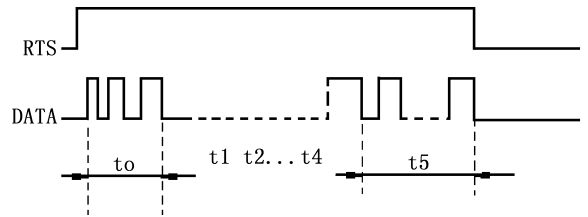


图 4 数据输入时序图

图 5 所示为数据存储的流程。数据是用 8 个 8 位寄存器存储的, 数据 2~7 为实际使用的数据。输入数据经过地址译码后, 须判断寄存器中数据是否为 t_0 , 假如此判断为真则把后 7 个 8bit 数据存入 2 到 8 寄存器中, 并且判断寄存器 8 中的数据是否为 t_5 , 假如此判断也为真, 则完成了一次数据输入, LED 就会变亮。假如数据 t_0 或 t_5 的判断为假, 则系统会重新输入数据。

3.3 系统时序的产生

数据输入后, 根据储存在寄存器中的数据产生系统所需输出的信号 UX、UY、UXA、UXB、UYA 和 UYB 就比较容易。输出信号 UX1、UY1 为规则的矩形波信号。在每一帧 CCD 输出信号中 (不包括 CCD 饱和输出的情况), 信号总是有一个由弱变强由强变弱的过程 (类似于正弦信号的负半部分)。为了更好地模拟 CCD 输出信号和满足太阳敏感器对模拟 CCD 信号 UX1、UY1 的要求, UX1、UY1 必须经过整形。

3.4 两阶低通滤波

在 CCD 信号源系统中, 用两阶低通滤波对 UX、UY 进行整形, 最终使其合乎要求。低通滤波的频带宽度由每帧 CCD 信号的输出频率和狭缝的宽度等因素决定。

4 系统精度

图 6 是由 CCD 信号源和数字式太阳敏感器

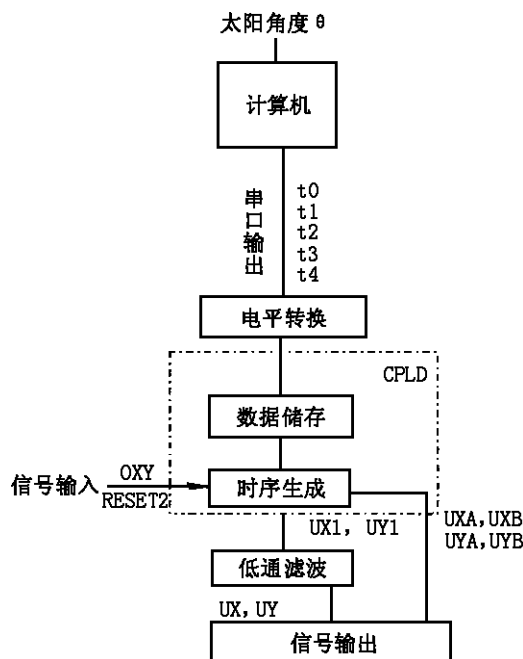


图 3 系统原理图

采样时钟的频率必须高于串口的频率, 以保证采样的准确。串行口传输的时序图如图 4 所

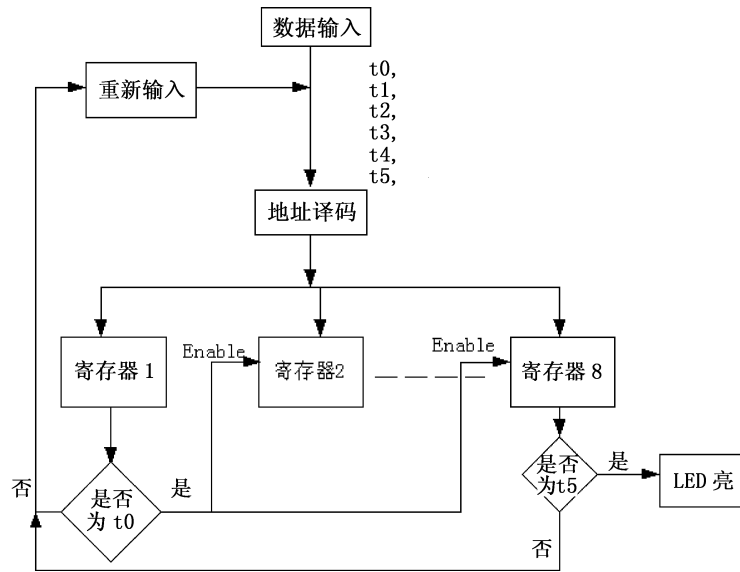


图 5 数据储存

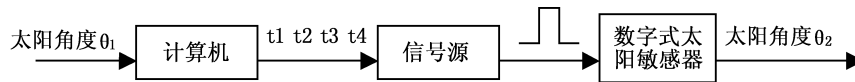


图 6 CCD 工作流程

组成的整个系统的工作流程。输入的太阳角度 θ_1 与经过整个系统后敏感器输出的 θ_2 之间的误差要求在 0.05° 内。在实际应用中，由于是以数字式太阳敏感器输出为基准，即以 θ_2 为基准对角度 θ_1 进行校正的，所以 CCD 信号源的精度远远高于 0.05° 。缺点是每台数字式太阳敏感器在制造和装配等过程中引入的误差都必须通过软件进行校正，所以每台太阳敏感器的 CCD 信号源的软件都需要作相应校正（硬件系统可以通用）。

对仪器本身进行自检，可以验证仪器工作是否正常。在实际工程应用中，如果整个系统在进行联试时出现问题，对于问题的定位是非常重要的。该 CCD 信号源已被成功地应用于某型号卫星的多个数字式太阳敏感器的地面测试设备上。由于其性能稳定、可靠且精度高，满足了使用要求，所以它为数字式太阳敏感器的研制带来了很大的方便。

5 结束语

在实际研制中，该信号源中还模拟了输入信号 OXY、RESET2。在没有敏感器输入的时候，利用内部自己产生的 OXY、RESET2 信号可以

参考文献

- [1] S. Flamenbaum and P. Anstett. Multipurpose Sun Sensor Using CCD.
- [2] Keiken Ninomiya. High Accuracy Sun sensor Using CCDs.

~~~~~

## 图像分析系统

美国 Syncroscopy 公司的自动剪辑型图像分析系统具有许多独特的性能，它能确保用户在用三维样品工作

时拥有最大的柔性，并能产生最好的样品图像。该系统包括一些速度非常快的算法，它们可在许多三维成像应用中控制剪辑方法。该系统还有一张置信度映射图像，它可指出信息已被解释到何种程度。

□ 顾聚兴