

文章编号: 1002-2082(2006)SO-0102-03

# CPLD 在光谱色彩分析仪中的应用研究

俞 兵, 吴宝宁, 李宏光, 曹 锋

(西安应用光学研究所 国防科工委光学计量一级站, 西安 710065)

**摘 要:** 为使颜色测量仪器测试精度更高, 且使用快捷方便, 提出了一种基于复杂可编程逻辑器件(CPLD)的光谱色彩分析方法。利用 CPLD 及单片机对 CCD 进行驱动及信号处理, 完成了系统的控制和颜色参数的计算, 实现了设备的 I/O 控制。借助自适应控制原理, 通过 CPLD 对 CCD 进行积分时间调整, 解决了单一积分时间下 CCD 动态范围太窄的问题。用 CPLD 控制 A/D 中断采样、数据存储及调用, 可使计算所用的 CCD 有效数据大大减少。

**关键词:** CCD 驱动; CPLD; 自适应控制; 中断采样

中图分类号: TB389-34

文献标志码: A

## Research on CPLD application in color measuring spectrophotometer

YU Bing, WU Bao-ning, LI Hong-guang, CAO Feng

(Optical Metrology Laboratory, Xi'an Institute of Applied Optics, xi'an 710065, China)

**Abstract:** A method of spectral color analysis based on complex programmable logic device (CPLD) is proposed to improve the measurement accuracy of the colour measuring instruments and make the application rapid and convenient. The system control and color parameter calculation were accomplished, and the I/O control for the equipments was realized by utilizing CPLD and inset-single chip to drive the CCD and to process the signal. By the aid of self-adaptive control theory, the problem that the CCD dynamic range was too narrow under the condition of single integration time was solved with the integration time adjustment for CCD by CPLD. The CCD effective data needed by calculation were reduced significantly through A/D intermittence sampling, data storage and invoking controlled by CPLD.

**Key words:** CCD drive; CPLD; self-adaptive control; intermittence sampling

## 引言

物体颜色的测量在造纸、纺纱、化工、地质勘探等多个领域中有着广泛的需求, 颜色测试仪器的品种亦较多。针对现有测试物体表面颜色的仪器精度相对较低的缺点<sup>[1]</sup>, 本文采用先进的光电摄谱法对物体表面颜色进行了测试<sup>[2]</sup>。利用基于 CPLD 的嵌入式系统实现了色彩分析。在嵌入式系统中, CPLD+单片机是比较通用的设计方法。CPLD 是一种多用途、高密度的复杂可编程逻辑器件, 可将系统部分或全部功能集成在一块芯片上, 并且系统具有设计方便灵活、易于修改等特点, 可减小系统

硬件复杂度<sup>[3]</sup>。

## 1 光谱色彩分析仪电器系统组成及基本原理

图 1 所示系统可分为 3 部分: 1) CCD 驱动及前级预处理电路(含光电转换、信号调理和动态范围压缩等); 2) 信号的采样、存储与数据处理, 包括 A/D 的中断采样信号控制、DMA 存储的实现及单片机数据处理; 3) 人机交互的实现, 包括键盘控制、液晶显示、RS232 串口(实现与 PC 机的通讯), 以及串口转 U 盘方式的外挂海量存储。

收稿日期: 2006-07-20; 修回日期: 2006-09-10

作者简介: 俞兵(1981—), 男, 四川广汉人, 主要从事光学计量检测研究工作。E-mail: yubinglaile@126.com

利用单片机嵌入式系统的复杂可编程逻辑器件(CPLD)可实现光谱色彩分析。用单片机+CPLD配合完成信号的有效控制,解决了CCD信号数据量大与单片机资源有限且速度相对缓慢问题,使本设计精确、快速与智能集为一体成为可能。

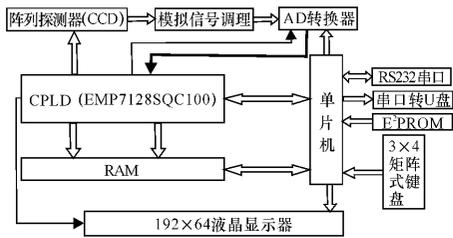


图1 系统组成及原理框图

Fig. 1 Block diagram of system composition and principle

## 2 前级预处理电路

### 2.1 光电转换

该系统采用的探测器为线阵 CCD TCD142D, 需提供 4 路脉冲驱动 CCD, 驱动脉冲与信号的逻辑时序如图 2 所示<sup>[4]</sup>。本设计采用 CPLD 构成 2 个多位计数器, 通过对 20 MHz 的 CPLD 主时钟进行分频计数产生驱动脉冲, 实现 4 路驱动脉冲和响应信号的统一变频, 使 CCD 的动态范围可调<sup>[5]</sup>。

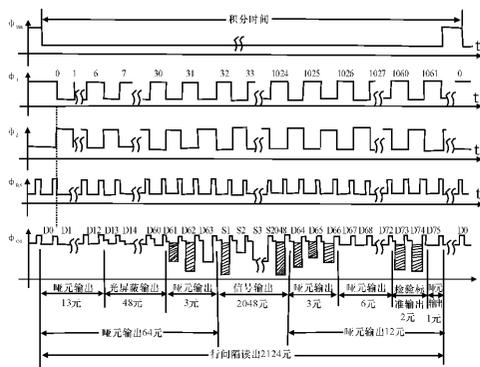


图2 CCD逻辑时序图

Fig. 2 The logic sequence of CCD

### 2.2 模拟信号处理

CCD 输出的模拟信号暗电流较高, 有高频数字特性, 基于此, 对 CCD 模拟信号差分放大及高通滤波可得出 CCD 的目标信号。滤波器的传递函数:  $H(s) = R / [(1/sC) + R] = sRC / (1 + sRC)$ 。选择适当电阻和电容值即可实现信号滤波。

### 2.3 CCD 动态范围的实时调整

仪器测试适合于任何颜色的样品表面色, 样品表面色的巨大差异将导致 CCD 所接收的光信号强度动态范围很大。如要同时测试白色样品和黑色样品, 而光学系统又无法调节 CCD 响应光的强度, 则将导致白色样品信号不饱和和所需的 CCD 积分时间很短, 以及黑色样品的响应值很低。在这样大的信号动态范围下, 若直接进行数据采集, A/D 的转换速率在 1 MHz 以上且量化分辨率至少需要 16 bit, 但速率高和比特数多将导致后续数字信号处理的数据量加大且数据冗杂, 致使系统的测试速度降低, 导致深色样品的测试精度无法保证。

本文采用 CCD 响应动态范围自适应控制方法, 让不同样品在 CCD 上都有最佳的响应。如图 3 所示, 由 CCD、A/D、RAM、单片机和 CPLD 构成反馈型数字控制系统来控制 CCD 信号输出。系统默认初值为 CCD 积分时间最长、信号频率最低、CCD 响应最为灵敏的状态。样品测试开始后, 单片机对采集信号与所设定阈值进行判断。信号若未超过阈值则信号为有效的目标信号; 超过阈值说明目标信号饱和, 则终止采集。单片机发出变频控制信号控制 CPLD 内部计数器切入高频位, 从而加大了 CCD 信号的频率, 缩短了 CCD 的积分时间。系统判断完成后, 若信号继续饱和, 则继续缩短 CCD 积分时间, 直至目标信号为有效信号后完成采集。重新测试后, 将 CCD 积分时间和信号频率置为初值<sup>[5]</sup>。本设计可变频 8 次, 基于实用性考虑, 只用了 3 次变频。实验表明: 3 次变频足以保证测试精度。

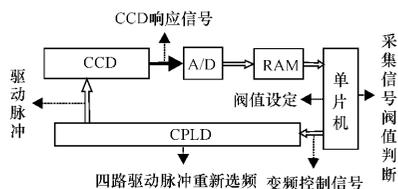


图3 CCD信号自适应控制图

Fig. 3 Diagram of CCD signal adaptive control

## 3 信号的采样、存储与处理

因 CCD 信号输出频率较高(本设计中最高输出频率为 0.5 MHz), 单片机指令周期相对较长, 因此无法完成信号的采样控制与数据的存储。在信号采样与存储过程中, 单片机不产生任何指令干预,

只管设备 I/O, 在 CPLD 对其发出采样存储完毕信号后, 单片机才接手对存储器的控制<sup>[6]</sup>。

### 3.1 CPLD 控制 A/D 变频采样

本设计所用 A/D 为 AD9221, 控制脉冲如图 4 所示。利用 A/D 采样控制脉冲并对信号进行中断采样。采样控制脉冲由 CPLD 产生, 它与 CCD 驱动脉冲共用同一计数器分频而得, 模拟信号输出关系参见图 2。当 CCD 信号频率改变时, A/D 采样脉冲同步变化, 完成对信号的变频采样<sup>[5]</sup>。当 AD9221 最大转换率在 1 MHz 以上时, 可保证 CCD 在任何工作频率信号输出下每个像元都能采集到一个有效信号。

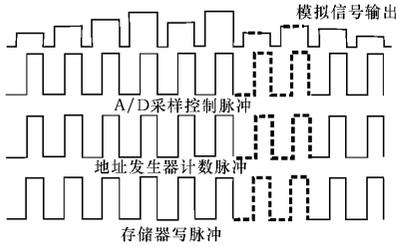


图 4 采样与存储控制时序

Fig. 4 Control sequence of sampling and data storage

### 3.2 数据的 DMA 存储

DMA 存储方式即直接存储方式。当 CPU 的读写速度无法跟上所存数据的刷新率时, CPU 需交出控制权, 采用 DMA 方式进行数据存储。CPLD 构成 16 位地址发生器对存储器地址进行改变。地址发生器计数脉冲与 A/D 采样控制脉冲为同步脉冲, 以保证每一新数据到来时有新的地址进行存储。存储器写脉冲也与以上两脉冲同步, 保证低电平有效, 在 A/D 数据保持时存储数据<sup>[5]</sup>。所用 RAM 为 8K×16 位。

### 3.3 单片机数据处理

单片机接收到数据采集存储完毕命令时, 调用 RAM 内的数据。设备波长标定完成后, RAM 内的每一 CCD 数据都对应一波长值。为进一步实现单片机的快速运算, 计算时只调用匹配波长(即 RAM 固定地址)下的数据值。由于颜色参数计算时需要较多的数据库, 这些数据库将和标准色板标定系统的数据库一同存于 E<sup>2</sup>PROM 中。在设备开机复位后, 将 E<sup>2</sup>PROM 中的数据库复制并存储于 RAM 中, 这将大大提高单片机的计算速度<sup>[7]</sup>。本设计利

用经典的颜色计算公式对不同视场和不同光源数据库下的颜色参数<sup>[8]</sup>进行计算。

## 4 人机交互的实现

系统利用键盘和显示器实现人机交互功能。显示器配有中文操作界面, 任一操作均有提示, 使用键盘很容易实现设备的操作。单片机通过串口转接 U 盘可将 RAM 内 CCD 数据存储其中, 实现设备外挂的海量存储。U 盘接入 PC 机, 利用设备所配高级语言编制的软件进行更为精确的颜色参数计算, 如配色和三维作图等<sup>[7]</sup>。RS232 串口可直接接入 PC 机, 实现设备的光谱标定, 也可满足特殊用户的特殊用途<sup>[9]</sup>。

## 5 结束语

利用单片机+CPLD 的方式实现了光谱色彩分析。由于阵列探测器 CCD 的数据量大, 计算算法复杂, 在此使用特殊的信号控制和数据采集、存储、处理方式, 突破了单片机嵌入式系统速度较慢的瓶颈, 有效地实现了针对 CCD 探测器的单片机嵌入式系统。对光谱彩色亮度计, 位置和振动测量等使用 CCD 作为探测器嵌入式系统的实现, 有着积极的促进作用, 使其不受上位计算机的限制, 有益于实现 CCD 的各种测量。

### 参考文献:

- [1] 李宏光. 一种小型光谱色彩分析仪的设计[J]. 应用光学. 2005,26(6): 66-69.
- [2] 李彩凤. 一种新型的分光光度计[J]. 光学仪器. 1997, 19(4):67-69.
- [3] 谈宏华. CPLD 实现多处理数据的分时共享[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2005, (10):12-14.
- [4] 蔡文贵. CCD 技术及应用[M]. 北京: 电子工业出版社. 1992:16-26.
- [5] 徐志军. CPLD/FPGA 的开发与应用[M]. 北京: 电子工业出版社. 2002:99-190.
- [6] 赵新彦. 单通道分光测色仪的数据采集技术[J]. 光学技术. 2004,30(3): 381-383.
- [7] 赵亮. 单片机 C 语言编程与实例[M]. 北京: 人民邮电出版社. 2003:30-163.
- [8] 王克瑜. 线阵 CCD 在颜色测试中的应用[J]. 光电工程. 1998,25(1): 56-60.
- [9] 王涛. RS232 串口通信在 CCD 在线测量中的应用[J]. 系统工程与电子技术, 2005,27(6):1814-1817.