

基于 TMS320F2812 控制器的 自动调光系统设计

李娜^{1,2}, 丁亚林¹, 周九飞¹, 鲍金河³, 郑飞^{1,2}

- (1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039; 3. 空军航空大学, 吉林 长春 130022)

摘要:为满足面阵 CCD 航空相机获得清晰图像的需要,设计了一种以数字处理芯片 TMS320F2812 为核心的调光控制器。该系统由检光电路和调光控制电路组成,使用集成光敏二极管芯片 OPT301M 为检光元件;利用模数转换器 AD7865 将模拟量转换为数字量,直流电机控制单帘幕快门帘缝速度,光电编码器反馈速度信号,并由可编程逻辑器件 EPM7128 完成逻辑运算与电平转换;系统的程序设计是在 DSP 开发环境 CCS 下完成的,程序简单可靠,算法容易实现。实验表明,在 180 r/min 的阶跃输入信号下,调节时间为 0.095 s,最大超调量为 7.2%,速度误差为 1.08 r/min,特性参数满足性能指标的要求。

关键词:自动调光控制系统;TMS320F2812 DSP;照度;帘缝速度

中图分类号:V475.2 **文献标识码:**A

Design of automatic light-adjusting system based on TMS320F2812 controller

LI Na^{1,2}, DING Ya-lin¹, ZHOU Jiu-fei¹, BAO Jin-he³, ZHENG Fei^{1,2}

- (1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*
2. *Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;*
3. *Aviation University of Air Force, Changchun 130022, China*)

Abstract: In order to acquire clear images by an area CCD aerial camera, an automatic light adjustment and control system is designed by using a digital signal processor TMS320F2812 as the core light adjustment controller. The control system consists of a light detection circuit and an adjusting and controlling circuit, in which the integrated photodiode and amplifier OPT301M is worked as a light detecting device. Otherwise, an A/D converter AD7865 is used to convert an analog signal to a digital signal, a direct circuit motor is used to control the curtain type shutter speed, and the programmable logic device EPM 7128 is taken to realize the logic operation and electric level conversion. Moreover, the programming design is implemented based on a CCS in the DSP environment by a simple way. The experiment results show that the adjustable time is 0.095

s, speed error is 1.08 r/min, and the over-adjustment is 7.2% in an input step signal of 180 r/min, which meets the requirements of system specifications.

Key words: automatic light-adjusting and control system; TMS320F2812 DSP; illumination; speed of sew

1 引言

正确地控制曝光量是航空相机获得高清晰图像的重要任务之一。为了保证面阵 CCD 器件的曝光时间与地面景物照度相匹配,做到既不过曝光也不欠曝光,正确反映景物细节。并获得较高的判读效果,必须进行自动调光控制。本文涉及的航空相机成像介质是面阵 CCD 器件,每帧输出 20 MB 像素数据,每秒拍照 3.6 帧,曝光时间为 $1/50 \sim 1/1\,000$ s。这些指标要求其自动调光控制系统处理数据速度快,运算量大,能完成高效率的调光算法。传统的自动调光控制系统采用 MCS-51 系列单片机作为相机的调光控制器,然而 MCS-51 单片机是 8 位处理器,处理速度有限;程序一般由汇编指令实现,编程复杂,工作量大;集成度低,所需外围电路较多,如 PWM(脉宽调制)控制信号;难以满足运算量较大的实时信号处理^[1,3],所以无法满足上述面阵 CCD 航空相机自动调光控制系统的需要。因此,本文以 TMS320F2812 为核心调光控制器设计了一个自动调光控制系统。系统设计电路简单,处理速度快,容易用软件编程实现调光算法和控制信号的产生,工作稳定,精度较高,满足航空拍摄的需要。

2 理论分析

面阵 CCD 航空相机采用的是单帘焦平面帘幕式快门。自动调光控制系统根据被摄地区景物平均亮度的变化,自动改变帘幕式快门帘缝速度,获得景物在像面上的最佳曝光量。相机的最佳曝光量通过实验室标定获得。

根据几何光学原理,景物在像平面上的曝光量公式为:

$$H = E \cdot t, \quad (1)$$

式中 E 为像面照度, t 为曝光时间。

像面照度表达式为:

$$E = \frac{\pi}{4} \cdot C \cdot \left(\frac{D}{f'}\right)^2 \cdot L \cdot \tau_g \cdot \cos^4 \beta, \quad (2)$$

式中 C 为滤光片的衰减系数, D 为镜头的入瞳直径, f' 为镜头焦距, L 为视场内景物的平均亮度, τ_g 为镜头的透射比, β 为镜头的像方视场角。单帘幕快门有效曝光时间为:

$$t = \frac{w}{v}, \quad (3)$$

式中 w 为帘缝宽度, v 为帘缝运动速度。

将式(2),(3)代入式(1)得到:

$$H = \left[\frac{\pi}{4} \cdot C \cdot \left(\frac{D}{f'}\right)^2 \cdot L \cdot \tau_g \cdot \cos^4 \beta \right] \cdot \frac{w}{v}, \quad (4)$$

若设 $K = \frac{\pi C}{4}$, $F = \frac{D}{f'}$, 并且对于长焦距航空相机像方视场角很小, $\cos^4 \beta \approx 1$ 。则最佳曝光量对应的帘缝速度为:

$$v = \frac{K \tau_g L w}{F^2 H}, \quad (5)$$

在式(5)中,曝光量 H , 光圈数 F , 镜头透射比 τ_g , 快门帘缝宽度 w 是固定值。因此,自动调光控制系统可根据景物在视场内的平均亮度,调整帘幕式快门的帘缝速度,获得 CCD 的最佳曝光量。

3 自动调光系统组成与工作原理

自动调光控制系统原理框图^[3]如图 1 所示。系统由检光电路和调光控制电路组成。检光电路包括检光元件和电压放大器;调光控制电路包括 A/D 数据采集,调光控制器,调光电机机构和光电编码器反馈元件。检光元件选用 4 个硅光电池,分别安装在 CCD 探测器像面两侧对应的位置上,为满足系统自检要求,在每个光电池附近都装有自检灯,以便对光电池进行自检。

自动调光控制系统工作原理如下:4 个光电池测量相机焦平面上的平均照度,进行光电转换,并通过电压放大器将光电池产生的 4 路电压信号

叠加放大; A/D 采集此代表景物在像面上照度的电压信号; 调光控制器利用软件程序将该电压信号转换为式(5)中给定的帘缝速度信号; 调光控制器对光电编码器反馈回来的角度信号进行采样, 并对角度信息微分得到实际的帘缝速度信号;

将反馈的实际帘缝速度信号与给定的帘缝速度信号进行比较, 通过一定的校正算法输出控制电机的 PWM 信号, 调整快门帘缝速度, 从而达到自动调光, 获得最佳曝光量的目的。

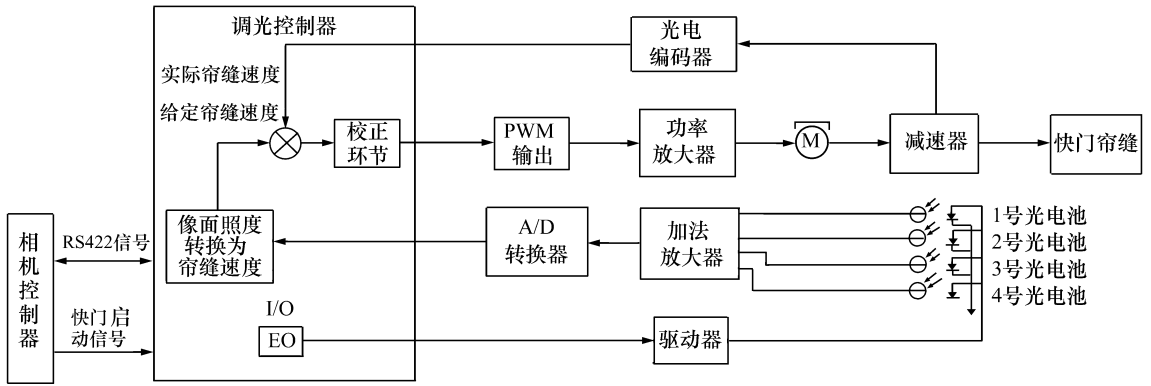


图1 调光控制系统原理框图

Fig. 1 Block diagram of light adjustment principle

4 自动调光控制系统的硬件设计

系统硬件主要由检光电路, A/D 数据采集, RS-422 串行通讯和调光控制电路 4 部分组成。

4.1 检光电路的设计

检光是将地面景物的平均照度, 通过光敏元件按一定比例转换为电压信号, 供调光控制系统进行自动调光。检光元件要对可见光波段反应灵敏, 光谱范围和 CCD 光谱范围一致。检光元件选用感光面积为 5.2 mm^2 , 包含光敏二极管和积分互阻抗放大器的 OPT301M 集成芯片 (简称光电池), 芯片光谱响应为 $250 \sim 1\,000 \text{ nm}$, 灵敏度为 $244.4 \text{ mV}/\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ($\lambda = 650 \text{ nm}$)。由于其输出信号比较微弱, 所以加入放大电路, 最后检光电路电压输出 U_{out} 在 $0 \sim +10 \text{ V}$ 之间。图 2 为检光电路原理图。

4.2 A/D 模数转换电路

A/D 要进行两路模拟电压信号的采集。一路是光电池输出的 $0 \sim +10 \text{ V}$ 的模拟电压信号, 一路是自检的 $+2.5 \text{ V}$ 模拟电压信号。这两路模拟电压信号都需要经 A/D 模数转换电路转换为

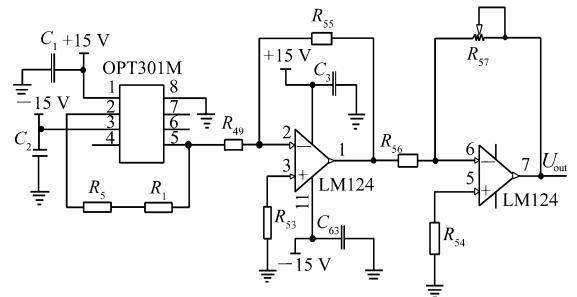


图2 检光电路原理图

Fig. 2 Circuit principle diagram of light detection

数字量才能被 DSP (数字信号处理器) 识别。DSP 内部自带 ADC 模拟输入信号在 $0 \sim +3 \text{ V}$ 之间, 如果使用 DSP 内部 ADC, 需要将光电池输出电压信号通过放大电路压缩到 $0 \sim +3 \text{ V}$ 之间, 但是这种方法精度较低, 电路设计较使用外接 A/D 复杂, 所以系统采用了 Analog Devices 公司的 AD7865^[4]。AD7865 是一种高速、低功耗、4 通道同步采样的 14 位 A/D 转换器, $+5 \text{ V}$ 单电源供电, 芯片内部有一个 $2.4 \mu\text{s}$ 的逐次逼近式 ADC, 4 个跟踪/保持放大器, 内部 $+2.5 \text{ V}$ 参考电压, 片上时钟振荡器和一个高速并行接口。该芯片有

AD7865-1、AD7865-2、AD7865-3 3 种型号,本设计采用 AD7865-1,它允许 $\pm 10\text{ V}$ 、 $\pm 5\text{ V}$ 两种输入,满足系统设计的要求。

AD7865 的 4 个通道任何组合都可以被选中进行转换,选中的通道按照升序进行转换。通道选择可以通过硬件通道选择输入引脚,也可以通过通道选择寄存器软件编程实现。本设计出于灵活性的考虑选择了软件控制方式。图 3 为通过软件选择通道的时序图。数据总线的 $\text{DB}_0 \sim \text{DB}_3$ (DB_0 代表通道 1, DB_3 代表通道 4) 是双向的,并且在 $\overline{\text{RD}}$ 为高电平而 $\overline{\text{CS}}$ 和 $\overline{\text{WR}}$ 为低电平时作为通道选择寄存器的输入引脚,当 $\overline{\text{WR}}$ 为高电平时, $\text{DB}_0 \sim \text{DB}_3$ 的逻辑状态被锁入该寄存器。

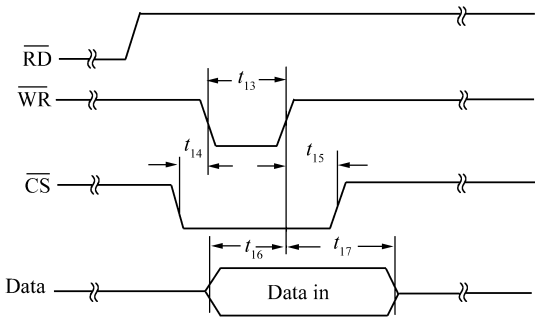


图 3 通过软件选择通道的时序图

Fig. 3 Channel selection via software control

在选择了转换通道后,AD7865 在 $\overline{\text{CONVST}}$ 的上升沿开始转换。各路通道模拟信号同时被采样,最少 70 ns (图 4 中 t_2) 后输出, BUSY 变为高电平标志转换正在进行,当它的输出变为下降沿标志

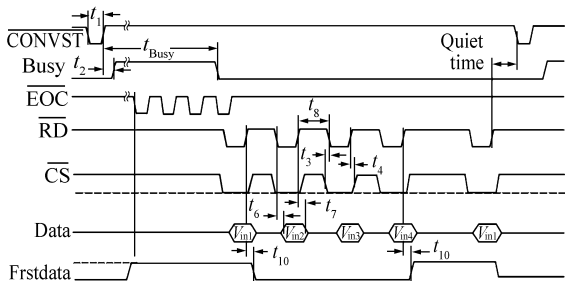


图 4 4 个通道都转换完成后读取转换结果的时序图

Fig. 4 Timing diagram after conversion for four channels

志各通道转换结束。转换结果可以在转换当中在每个通道转换完成时被读取,也可以在各个通道转换完毕后依次读取,本设计采用后者。时序图如图 4 所示。

4.3 RS-422 串行通讯接口电路

调光系统在工作过程中,相机控制器需要向调光系统发送控制命令:调光开始与结束信号和自检灯启动与结束信号,调光系统也需要实时向相机控制器返回工作状态和自检。二者通讯方式是串行通讯和主从方式,相机控制器为主,调光系统为从。通讯接口采用 RS-422 标准。串行输入接口选用差动线路驱动器 AM26LS31,串行输出选用线路接收器 AM26LS32。DSP 的一个 IO 引脚接到 AM26LS31 的片选端,控制调光系统发送信号,以免相机控制器接收信号冲突(见图 5)。

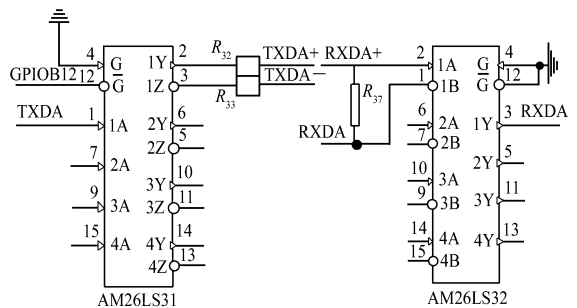


图 5 串行通讯接口电路原理图

Fig. 5 Circuit principle diagram of serial communication interface

4.4 DSP 控制电路

自动调光控制系统选用的核心控制器是 TI 公司的 TMS320F2812 DSP^[5] (后面简称 F2812) 数字信号处理器。

F2812 是 32 位定点数字信号处理器,该芯片每秒可执行 1.5 亿万次指令 (150MIPS),具有单周期 32×32 位乘积累加操作 (MAC) 功能。F2812 内部集成了 128 K/64 K $\times 16$ 位闪存存储器 (Flash),可方便地实现软件升级。此外,片内还集成了丰富的外围设备,例如:采样频率达到 12.5 MIPS 的 12 位 16 路 A/D 转换器,面向电机控制的事件管理器,以及可为主机、测试设备、显示器和其他组件提供接口的多种标准串口转换器的控制。系统主要利用 F2812 丰富的资源完成以

下任务:(1)通过事件管理器 A(EVA)输出两路驱动电机转动的 PWM 调宽波,并通过 EVA 的 QEP(正交编码脉冲)记录光电编码器反馈回来的电机角度信号,然后微分形成速度信息;(2)完成与相机控制器的 RS-422 通信和对 A/D 转换器的控制;(3)将代表像面照度的电压信号转换为帘缝速度信号,并完成控制算法。图 6 为控制电路图,其中 EPM7128 是 Altera 公司生产的复杂可编程逻辑器件(CPLD)。

CPLD 所有 IO 输入引脚兼容 3.3 V/5 V 电压,当 VDDIO 接 +3.3 V 电源时,所有 IO 输出引脚兼容 3.3 V/5 V,起到电平转换的作用,方便 DSP 和编码器,功率放大电路,以及 RS-422 串行通讯接口的连接。同时它还可以对 DSP 输出的 PWM 调宽波进行逻辑运算,控制电机的转速和方向。

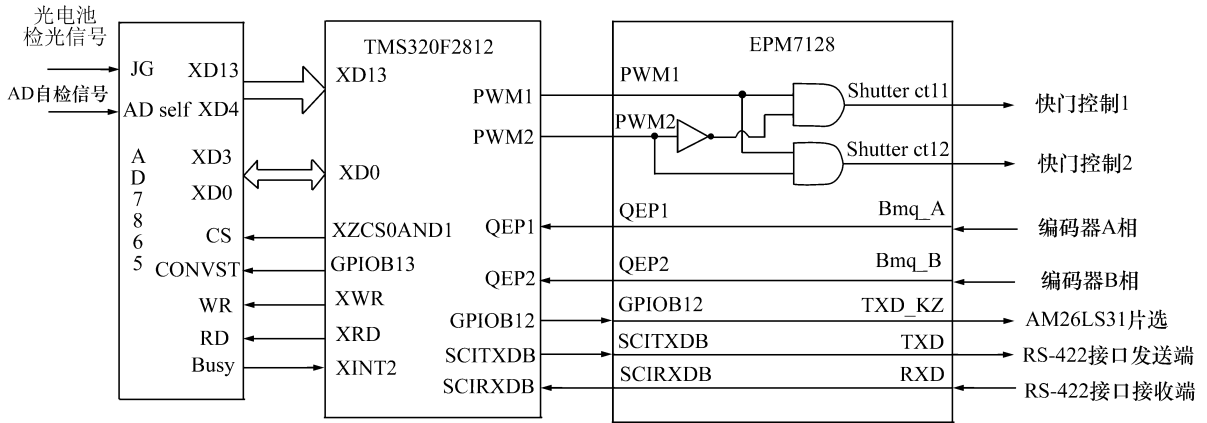


图 6 TMS320F2812 DSP 核心控制电路

Fig. 6 Core control circuit of TMS320F2812 DSP

5 自动调光系统软件设计

自动调光控制系统的程序设计是在 DSP 开发环境 CCS 下完成的。依据 C 语言的特点,程序采用模块化设计,可读性强,易于移植。控制程序主要由主程序、自检子程序、像面照度与帘缝速度换算子程序、速度检测与调节中断子程序、校正算法子程序、与相机控制器串行通信(SCI)子程序和 PWM 输出子程序组成。程序流程如图 7 所示。

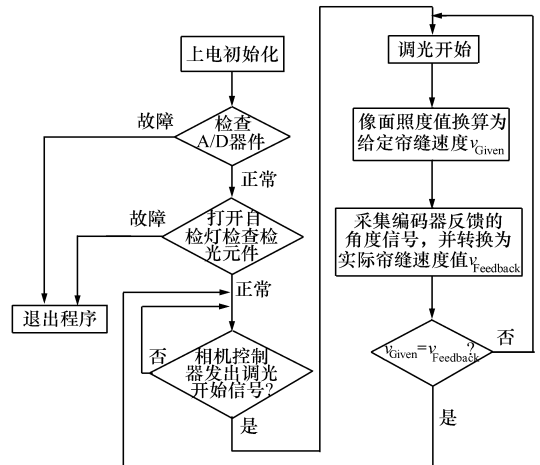


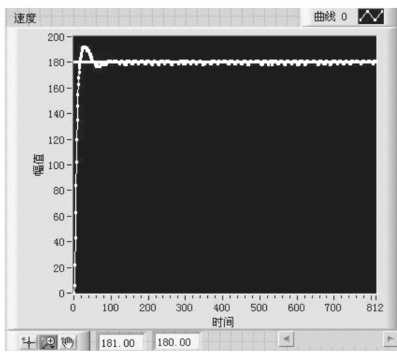
图 7 程序流程图

Fig. 7 Programm flow chart

6 实验结果

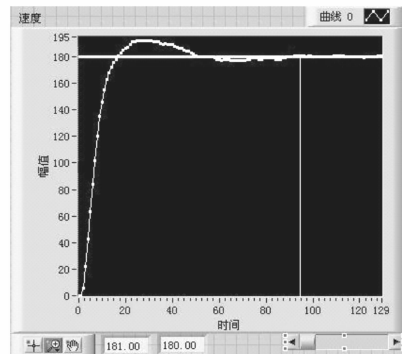
系统采用控制理论的经典校正算法:二阶超前滞后校正算法。为测试系统调速性能,给系统 180 r/min 的阶跃输入信号,通过 Labview 软件获得系统响应曲线如图 8 所示,图 8(b)为过渡过程的放大图。纵坐标为电机转速,其单位为 r/min,

横坐标时间其单位为 ms。由响应曲线可以得到系统的调节时间为 0.095 s,最大超调量为 7.2%,速度误差为 1.08 r/min。



(a) 系统的响应曲线

(a) Response curve of the system



(b) 过渡过程放大图

(b) Amplified curve image for Fig (a)

图8 系统的阶跃响应曲线

Fig. 8 Step response curves of the system

7 结 论

以 TMS320F2812 DSP 作为航空相机自动调光系统核心控制器,利用其丰富资源很好地解决

了 PWM 信号的产生,调光算法的实现,信号的控制等诸多问题;同时采用可编程逻辑器件 CPLD,便于调试且 IO 接口更加灵活。因此,大大简化了硬件电路的设计,程序简单可靠,算法易于实现,处理速度快,能够满足面阵 CCD 航空相机的调光要求,并具有很强的实用性。

参考文献:

- [1] 杜云飞,刘波,曹剑中,等.基于 P89C668 单片机的航空数码相机控制系统[J].计算机工程与设计,2008,29(1):140-141.
DU Y F, LIU B, CAO J ZH, *et al.*. Control system of aviation digital camera based on P89C668 SCM[J]. *Computer Eng. Design.*, 2008, 29(1):140-141. (in Chinese)
- [2] 张雷,丁亚林,蒋贵德,等.一种航摄快门帘缝宽度的优化[J].光学精密工程,2009,17(1):197-199.
ZHANG L, DING Y L, JIANG G D, *et al.*. The accuracy analysis on exposure time of a curtain-type shutter[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(1):197-199. (in Chinese)
- [3] 于惠珠,王岚.单片机智能控制摄影自动调光系统[J].光学精密工程,1995,3(5):99-102.
YU H ZH, WANG L. Microprocessor based intelligent automatic light-tuning control system for camera in cinetheodolite [J]. *Opt. Precision Eng.*, 1995, 3(5):99-102. (in Chinese)
- [4] AD7865 Data Sheet. Analog Device, 2000.
- [5] Texas Instrument Inc. TMS320F2810, TMS320F2812 Digital Signal Processors Data Manual[EB/O]. [2001-04-01]. <http://focus.ti.com/lit/ds/spral740/sprs1740.pdf>

作者简介:李娜(1984—),女,辽宁盘锦人,硕士研究生,主要从事航空相机自动调光控制系统的研究。

E-mail:lina1984_12@yahoo.com.cn