

线阵 CIS 图像采集系统自动增益调节设计

Design of Automatic Gain Regulation for Linear Array CIS Image Acquisition System

黄永林¹ 叶玉堂¹ 乔南生² 王鼎元¹

(电子科技大学光电信息学院¹,四川 成都 610054;四川大学制造科学与工程学院²,四川 成都 610065)

摘要: 为实现图像采集的灰度均衡,提出了线阵接触式传感器图像灰度自动增益控制的新方法,在了解线阵 CIS 图像采集系统基本结构的基础上,利用 AD9822 芯片进行 64 级增益设置,并采用二分法进行闭环增益参数的调节。实验证明,新方法提高了采集的图像质量,可以取得良好的二值化图像分割效果,并且线阵 CIS 图像采集系统结构简洁、易实现,能够满足实时处理的要求。

关键词: 接触式图像传感器 图像采集 灰度平衡 二分法 自动调节系统

中图分类号: TN520.20 文献标志码: A

Abstract: In order to realize gray scale balance of image acquisition, the new method of automatic gain control for linear array contact image sensor (CIS) is proposed. The basic structure of linear array CIS image acquisition system is introduced in detail, and the methods of 64-step gain settings by adopting AD9822 chip, and closed-loop gain parameter adjustment by adopting dichotomy are proposed. The experiments prove that the new method enhances the quality of images collected, and obtains the effects of excellent binary image separation; and the linear array CIS image acquisition system is in simple structure, easy to be implemented and can meet the real-time processing requirement.

Keywords: Contact image sensor(CIS) Image acquisition Gray scale balance Dichotomy Automatic regulation system

0 引言

近年来,印制电路板 PCB(printed circuit board)产业在我国得到迅猛发展,但与之相应的自动光电检测 AOI(automated optical inspection)设备仍显得相对滞后。本文提出的线阵接触式图像传感器 CIS(contact image sensor)图像采集系统可应用于 PCB 孔径检测^[1],其线阵扫描宽度可达到 0.66 m,采集图像的分辨率为 1 200 dpi,可以实现大面积高精度检测。

线阵 CIS 有六路视频输出信号,每路 CIS 内部都存在差异,导致在相同照度下采集的图像存在一定的灰度值差别,且 CIS 普遍采用光电二极管线性有源像素,动态响应范围一般较小^[2-5],只有 50 ~ 60 dB,图像对比度较低。这些因素都会影响采集图像的质量。因此,成像系统的灰度平衡调节系统是必不可少的,这是保证图像阈值分割成功的关键,而且在每次开机后必须对各段 CIS 进行自动灰度平衡的调节。

1 图像采集系统基本组成

1.1 CIS 各路增益调节过程

系统所用的 CIS 有六路视频输出信号,每路对应

CIS 的某一段,每段有 1 780 个光口(传感器单元)。CIS 的图像采集由行触发和帧触发信号时钟来控制,采集到的图像信号为微弱的模拟信号。首先模拟信号经过放大后输入 AD9822 芯片,AD9822 芯片除了可以将模拟图像数据转化为数字图像数据外,还可以进行 64 级增益调节,调节范围为 1 ~ 5.7;然后将数字图像数据输入 FPGA,FPGA 在整个采集电路中起到一个枢纽作用,图像数据通过 Camera Link 到达图像采集卡,由 PC 机对图像数据进行分析,得到为实现图像灰度平衡的 CIS 各路所需要调整的增益值;最后将各路增益值通过 Camera Link 的虚拟串口传回 FPGA^[6-7],再传给单片机,由单片机对 A/D 各路图像数据设置不同的增益,调整各路增益值,直到达到指定的图像灰度值。如果灰度值不满足灰度平衡,则重新采集图像,并按照一定规律设置增益系数,重复以上过程,最终使得各路的灰度值平衡。整个系统通过闭环调节设置参数。

图像采集系统示意图如图 1 所示。

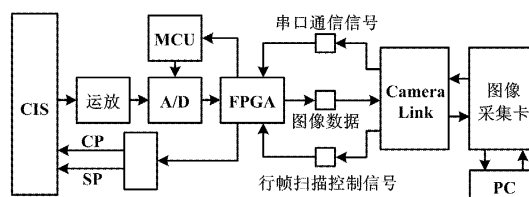


图 1 图像采集系统示意图

Fig. 1 Schematic of the image acquisition system

广东省粤港招标项目基金资助项目(编号:20091683)。

修改稿收到日期:2010-07-22。

第一作者黄永林,男,1972年生,现为电子科技大学光电测控实验室在读博士研究生;主要从事机器视觉、模式识别方面的研究。

1.2 AD9822 芯片的设计模式选择

CIS 的行信号和帧信号共同作用触发六路视频图像数据的采集。这些信号经过运算放大器进入两块 A/D 芯片,每块 A/D 芯片有三路视频图像数据输入。单片机通过 A/D 芯片的程序增益放大器 PGA (programmable gain amplifier) 分别进行各路增益设置。每块 A/D 芯片有三个 PGA 寄存器,每个 PGA 寄存器的设置可以对有 64 级的增益进行调整。AD9822 芯片的 SClk、SData、SLoad 三个引脚和芯片内部数字控制接口相连,通过数字控制接口可对增益寄存器进行增益设置。PGA 的增益近似线性关系如下:

$$gain = 5.7 / [1 + 4.7 \times (63 - G) / 63] \quad (1)$$

式中:gain 为增益值;G 为增益寄存器所设定的值,最大不超过 63。

AD9822 芯片外设采用三通道集成的快速采样保持放大器 SHA 模式,其外接电路如图 2 所示。

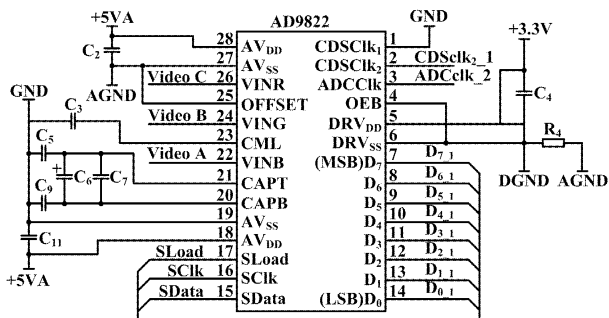


图 2 AD9822 芯片外设电路

Fig.2 Peripheral circuits of AD9822 chip

1.3 A/D 芯片的增益设置

AD9822 芯片增益设置如图 3 所示。

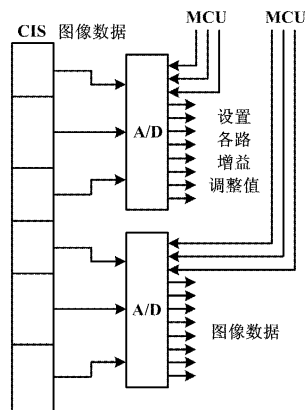


图 3 AD9822 芯片增益设置图

Fig.3 Gain settings of AD9822 chip

CIS 的六路模拟图像数据经过 A/D 芯片后,转换为数字图像信号。系统通过对不同段的图像数据设置

不同的增益值来改变数字信号的大小。

2 二分法增益设置过程

在相同照度的情况下,每段 CIS 内的各个光敏元件响应强度也有差别。对成像系统进行灰度平衡调节是为了便于后续二值化图像阈值分割^[8],使在同一光源、相同照度情况下,各段采集的图像经 A/D 后达到相同或接近的灰度值。

灰度增益设置过程步骤如下。

① 根据式(1),得到 64 个增益值并将其按升序放入数组 (gain[0]、gain[1]、gain[3]、...、gain[63])。每段 CIS 各自需要选择的增益值就在这个增益数组里。

② 设置各段在相同的光源照度下采集图像需要达到的统一灰度值 I_0 。

③ 获取六段 CIS 在相同照度下采集到的图像。

④ 分别计算采集图像各段的平均灰度值 $\bar{I}_i (i=1, 2, 3, \dots, 6)$ 。各段须满足 $|\bar{I}_i - I_0| < e (e$ 为误差范围,一般不超过四个灰度级)。如果六段都满足以上条件,则整个循环调节结束;如果某一段先满足这一条件,则该段下一次循环设置的增益值不再变化。

⑤ 采用二分法设置增益^[9],这样每次设置增益值时,所在增益数组范围收缩一半,从而使设置的增益值快速满足循环结束条件。

理论上,二分法可以使各段都达到循环终止条件时所进行的总循环次数最少。

增益参数设置流程如图 4 所示。

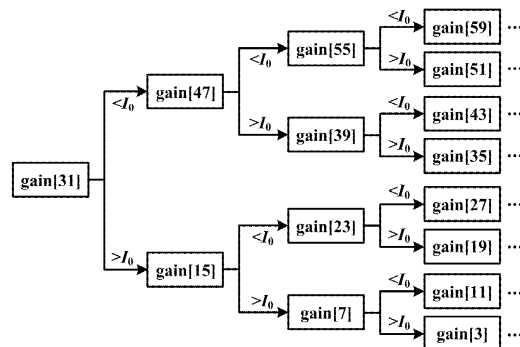


图 4 增益参数设置流程图

Fig.4 Flowchart of setting gain parameters

第一次循环,所有段设置的增益值为 gain[31]。在该增益设置下,如果采集到图像的某一段平均灰度值 $\bar{I}_i > I_0$,且不满该段循环终止条件,则该段下次循环设置的增益为 gain[15];反之,如果 $\bar{I}_i < I_0$,且不满该段循环终止条件,则该段下次循环设置的增益为 gain[47];如果某段先满足循环终止条件,则该段以下

所有循环都设置同一增益值。只要没有达到循环终止条件,则设置参数后,继续从步骤③开始继续循环,直到所有段都达到循环结束条件。

由于是 64 级增益调节,采用二分法进行各段增益设置最多只需进行六次循环即可结束调节,因此,该方法计算简单且处理速度非常快。

3 实验结果

实验 1:对没有放入 PCB 板的采集图像进行灰度平衡,得到的比较结果如图 5 所示。

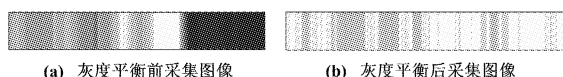


图 5 未放入 PCB 板的采集图像比较

Fig. 5 Comparison of collected images without PCB

由图 5 可知,采用灰度平衡调节后各段灰度差异大大减少,方便后续的图像阈值分割。

为了评价各段灰度平衡调节效果,采用均方根误差 RMSE(root mean-squared error)来衡量,均方根误差公式如下:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=0}^n (I_{ki} - I_m)^2 / n} \quad (2)$$

式中: I_{ki} 为图像第 k 段的第 i 个像素的灰度值; I_m 为全图像的平均灰度值。因此,可以根据式(2)计算各段的均方根误差。

灰度平衡调节前后,各段均方根灰度误差比较如表 1 所示。

表 1 各段均方根误差比较

Tab. 1 Comparison of the RMSE of each segment

段号	均方根误差	
	调节前	调节后
1	15.35	2.26
2	17.15	5.29
3	12.43	4.17
4	16.67	4.05
5	22.83	2.73
6	32.95	2.49

由表 1 可知,经过平衡调节后,各段均方根偏差最大不超过六个灰度级,而平衡调节前的各段均方根误差可以达到 32 个灰度级。可见灰度平衡系统明显提高了采集图像的均衡性。

实验 2:对放入 PCB 板的采集图像进行灰度平衡,得到的比较结果如图 6 所示。

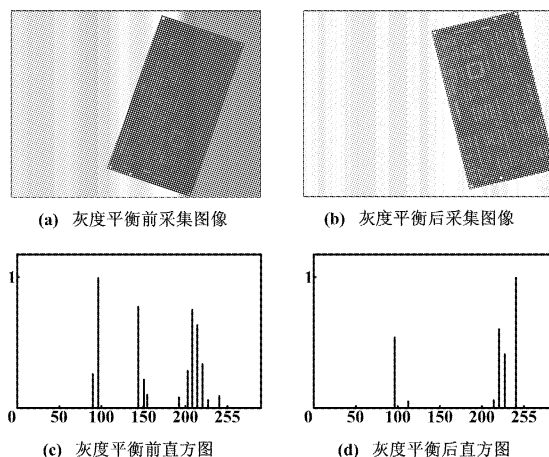


图 6 放入 PCB 板的采集图像比较图

Fig. 6 Comparison of collected images with PCB

4 结束语

由于 CIS 不同段采集的图像灰度值相差很大,不便于图像的后续二值化分割,提出了灰度平衡自动调节系统的设计方法。本文介绍了图像采集系统的基本结构和全系统自动调节 A/D 芯片的增益过程,利用 AD9822 芯片进行 64 级增益设置,并采用二分法进行闭环增益参数的调节。在实际应用中,该系统操作简单、调节速度快,灰度平衡调节系统可自动使各段达到设定值左右,不超过四个灰度级,方便后续进行二值化图像分割。

参考文献

- [1] 刘贵喜,杨万海,谢仕聘. CIS 信号检测与处理技术[J]. 光电工程,2000,27(4):18-20.
- [2] Tadahiko H, Hiromi Y, Akira O, et al. Contact-type color image sensor using three-LED switch method[J]. Proc. SPIE, 1997, 3019: 146-153.
- [3] Lin B R, Huang S Y, Lai C H, et al. A high dynamic range CMOS image sensor design based on two-frame composition[C] // IEEE International SoC Conference, Portland, CA, USA, 2003:389-392.
- [4] 陆尧,姚素英,徐江涛. 基于自适应曝光的 CMOS 图像传感器的设计与实现[J]. 光电子·激光,2006,17(11):1321-1325.
- [5] 杨少华,李斌康,冯兵,等. 高速高分辨率 CMOS 图像采集系统设计及实现[J]. 光电工程,2006,33(11):133-136.
- [6] 吕扬生,关红彦,黄玉玺. 一种基于 FPGA 技术的图像采集系统[J]. 电子测量与仪器学报,1997,11(3):28-32.
- [7] 周砚江,顾焕峰,冯佳良. 基于 SPI 的快速多通道数字采集和数据滤波方法及应用研究[J]. 电子测量与仪器学报,2008,22(3):100-104.
- [8] Shapiro L G, Stockman G C. 计算机视觉[M]. 赵庆清,钱芳,蔡利栋,译. 北京:机械工业出版社,2005:218-221.
- [9] 王海涛,朱洪. 改进的二分法查找[J]. 计算机工程,2006,32(10):60-63.