

基于 HSI 色空间的色选机信号处理系统

马常松,许丽萍,刘恩树,胥和平,王雪梅

(核工业理化工程研究院华核新技术开发公司,天津 300180)

摘要:针对目前采用的 RGB 色空间在色选机图像信号处理方面的问题,提出了采用更符合人们的视觉习惯和视觉心理的 HSI 色空间模型,改进了彩色 CCD 色选机图像信号处理方法。同时采用 FPGA 实现 RGB 色空间到 HSI 色空间的转换,提高并行处理的速度,实现系统更高的速度。

关键词:色选机;RGB 色空间;HSI 色空间;FPGA

中图分类号:TP391

文献标识码:B

文章编号:1672-545X(2013)09-0177-04

色选机是一种机器视觉检测设备,主要应用于农产品深加工领域,通过判断农产品表面的颜色实现分积分选的目的。随着色选机应用领域的不断扩展,单纯依靠单色 CCD 相机获取待选产品表面的灰度信息已经不能满足需求,需要采用彩色 CCD 相机来识别颜色相近的产品,满足更进一步的分选要求。

彩色线阵 CCD 是三线阵式彩色阵列 CCD,输出红色(R)分量、绿色(G)分量和蓝色(B)分量,对产品图像信息的处理、判断都是在 RGB 颜色空间进行的。但是 RGB 颜色空间的色分量间的属性不独立,在进行图像处理时,会造成各个属性间的串扰,给图像处理带来麻烦,影响分选判断的结果。目前图像编辑领域广泛采用 HSI 颜色空间,它将颜色的色调(Hue)、饱和度(Saturation)和亮度(Intensity)属性分离。本文中采用更符合人们的视觉习惯和视觉心理的 HSI 色空间模型,改进了彩色 CCD 色选机的图像处理算法,提高了色选机操作的灵活性和分选能力。

1 色空间对比

在图像识别过程中,其颜色信息是主要的识别依据,色空间的选取对正确识别颜色有很大的影响,目前常用的色空间有 RGB 和 HIS。RGB 模型是线性表示系统,其优点是较简单、直观。但实践结果表明,对同一颜色属性物体,在不同条件(光照、光源种类、亮度、物体反射特性等)下,其测得的 RGB 颜色分布很分散,3 个分量互相关联变化波段很宽,占据空间比例很大,很难确定识别 RGB 的阈值范围,非常容易把并非指定颜色的物体包括进去,而漏掉应该识

别的部分物体。

目前彩色 CCD 色选机单纯的依靠 CCD 观察到的 R、G、B 的颜色绝对值来判断物体是否该剔除。但是光源光强的变化或者不同相机间的差异又会对 CCD 观察到的物体 R、G、B 分量值产生影响,例如一个相机观察到的光强为 $R = 150$, $G = 80$, $B = 100$, 另一 CCD 观察到的光强为 $R = 1650$, $G = 88$, $B = 110$ 。目前色选系统会判断 2 个 CCD 观察到的是不同颜色的物体,但是其实这两组观察到的是同一种颜色。而且人眼对物体颜色的感知并不是以 R、G、B 三种颜色分量程度来呈现,因此一种能独立表示颜色属性的空间将非常重要。

HSI 模型是基于视觉原理的模型,其定义了 3 个互不相关、容易预测的颜色属性:色度(Hue)、饱和度(Saturation)和明亮度(Illumination),其中的色度属性能较准确地反映颜色种类,对外界光照条件的变化敏感程度低。对同一颜色属性物体,具有较稳定和较窄的数值变化范围。饱和度 S 可作为辅助判断条件,亮度 I 一般不作判断。

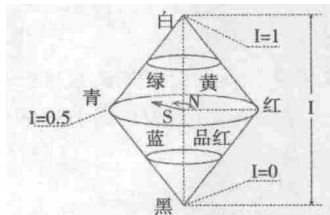
2 HSI 色空间模型

本文采用 HSI 色空间表达颜色信息,该色空间的三个分量,正好与人们对颜色三个方面的认识(颜色的类别、颜色的纯度和颜色的明亮程度)相对应,符合人们的视觉习惯和视觉心理。色度 H 由角度表示,彩色的色度反映了该彩色最接近什么样的光谱波长(即彩虹中的那种颜色)^[1]。在该颜色模型中, H 用来区分不同的颜色,对于在色调上与待测物相近似的杂质,单独使用 H 并不能进行区分,这就需要综

收稿日期:2013-06-08

作者简介:马常松(1983—),男,河北保定人,工程师,硕士研究生,研究方向为机器视觉。

合考虑 S 和 I 空间上的信息,达到对杂质检测剔除的目的。饱和度 S 表示颜色的深浅程度,饱和度越高,颜色越深,如深红、深绿等。饱和度参数是色环的原点(圆心)到彩色点的半径的长度。亮度 I 是指光波作用于感受器所发生的效应,其大小由物体反射系数来决定。反射系数越大,物体的亮度越大,反之越小。

图1 HSI 色空间模型^[1]

RGB 色空间的图像可以通过以下公式转换到 HIS 色空间:

$$I = \frac{1}{2}(\text{Max} + \text{Min})$$

$$H = \begin{cases} \frac{\pi}{3} \times \frac{G - B}{\text{Max} - \text{Min}}, & \text{if Max} = R \\ \frac{\pi}{3} \times \frac{B - R}{\text{Max} - \text{Min}} + \frac{2\pi}{3}, & \text{if Max} = G \\ \frac{\pi}{3} \times \frac{R - G}{\text{Max} - \text{Min}} + \frac{4\pi}{3}, & \text{if Max} = B \end{cases}$$

$$H = H + 2\pi, \text{ if } H < 0$$

$$S = \begin{cases} \frac{\text{Max} - \text{Min}}{\text{Max} + \text{Min}}, & 0 < I \leq \frac{1}{2} \\ \frac{\text{Max} + \text{Min}}{2 - (\text{Max} + \text{Min})}, & I > \frac{1}{2} \end{cases}$$

Max = max(R,G,B), Min = min(R,G,B), 公式中的 R、G、B 均归一化至 [0,1] 区间。

3 硬件系统实现

目前的色选机采用 DSP 处理器作为图像处理系统的核心。但 DSP 处理器同单片机一样在运行时顺序执行程序指令,且数据位宽固定,因而资源利用率不高,另外还需要较大的存储空间。RGB 色空间和 HSI 色空间之间的转换是非线性的,很多地方只是用 C 等高级语言实现^[2]。但是数据量和计算量较大,DSP 已承担了其它实时算法的部分,为保证色选数据的实时性,将采用硬件实现该转换算法。

本文采用 FPGA 实现 RGB 色空间和 HSI 色空间的转换算法。FPGA 除了具有并行处理的优势之外,还可以针对具体设计要求实现专用的硬件结构。借助一片 FPGA 芯片,采用 SOPC (System On Programmable Chip) 技术,利用 FPGA 的丰富逻辑资源,可根据色选系统的要求灵活地实现各种对信号采集与图像处理算法,利用其丰富的 IP 核资源,在 SOPC 上实现

嵌入式系统的总体架构,形成软硬件协同的处理模式,可实现系统更高的速度和精度。

信号采集和信号处理系统的框架如图 2 所示。该方案中设计了一个相机接口模块,用于连接一个或多个 CCD 相机,用来驱动和控制相机,相机将 CCD 芯片产生的 R、G、B 颜色分量信号实时的传到该模块。同时相机接口模块将接收到的 RGB 颜色空间的色信息进行处理,并转换成 HSI 颜色空间的图像信号,将 HSI 图像信号传送到 DSP 模块,由 DSP 根据用户设定进行判断比较,将杂质和良品区别开来。

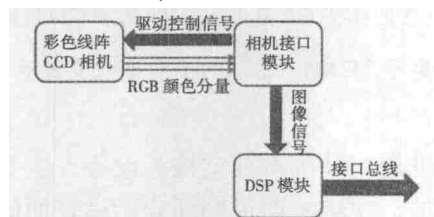


图2 功能模块连接图

相机接口模块选用 Altera 公司的 CycloneII 系列 FPGA 芯片 EP2C35F484C8 构建 SOPC 系统,利用 CYPRESS 公司的 SRAM 作为 SOPC 片上系统的程序存储器,实现系统的高速运转。SOPC 硬件平台包括基于 NiosII 的微处理器系统和自定义 IP 核两部分。

4 软件系统实现

基于 Nios 的 SOPC 系统平台由 NiosII 微处理器、Avalon 总线和片上外设三种组件组成。NiosII 微处理器核、Avalon 总线及三态总线桥、UART 控制器核、SPI 控制器核、JTAG 调试核和 DMA 控制器核等由 Altera 公司提供,SRAM 控制器 IP 核和自定义 IP 核自行设计^[3]。DMA 实时接收图像处理 IP 核输出的图像并将其传送到 UART 接口,UART 接收 DMA 传送的图像数据并输出。SPI 输出色选图像的处理结果,控制后续执行机构剔除不合格物料。SOPC 平台构建利用 SOPC Builder 实现,SOPC Builder 实例化选用的 IP 核和总线,自动生成必要的总线逻辑,将这些 IP 核连接到一起,再为其分配存储器映射地址和中断,最终建成一个完整的嵌入式系统。搭建的 SOPC 系统平台结构如图 3 所示。

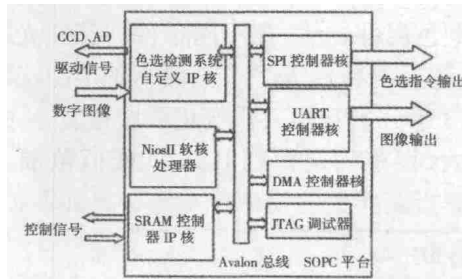


图3 SOPC 平台结构图

本文综合使用开发软件对相机接口模块进行了设计,主要包括时序模块、校正模块和色空间转换模块。

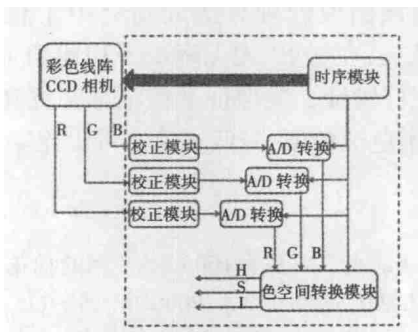


图4 相机接口模块原理图

4.1 时序模块的设计

时序模块主要是为各个子功能模块提供控制信号和时钟信号,驱动相机的CCD芯片,分别输出红(R)、绿(G)、蓝(B)三路模拟图像信号,同时驱动A/D转换芯片,将CCD输出的模拟信号转换成数字信号。CCD与A/D的驱动信号共同构成图像采集部分,两个芯片的驱动信号采用同步设计,保证A/D和CCD按照标准时序进行高速、协调工作。系统的时钟频率是50MHz,利用锁相环(PLL)将其分频为10MHz作为CCD驱动时序的同步时钟输入。根据彩色CCD芯片和AD芯片的时序原理,在QuartusII软件中利用VHDL语言进行文本输入描述时序逻辑。时序模块的端口定义为:

```
ENTITY drv IS PORT
(
    CP,EN_ST,ENCODER,CLK_120M:IN STD_LOGIC;
    IMAGE_LEFT,IMAGE_RIGHT:IN STD_LOGIC_VECTOR(23 DOWNTO 0);
    PR,LOGR,LOGG,LOGB,TG1,TG2,P1,P2,P2S,SHP,
    SHD:OUT STD_LOGIC;
    AD_DATACLK,CLPOB,CLPDM,PBLK,
    COR_COUNT_EN:OUT STD_LOGIC;
    AD_DATA_CLK,AD_DATA_EN,CLK_3X:OUT STD_LOGIC
);
ENDdrv;
```

生成的顶层原理图模块如图5所示:

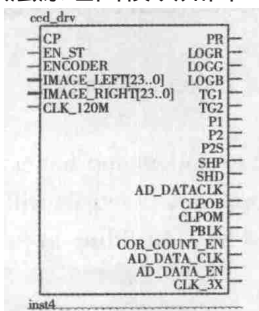


图5 时序模块图

4.2 校正模块的设计

相机观察待测物体的视场有一定的范围,该范围内的光源强度变化或灰尘等的影响会对相机不同像素位置的信号造成影响。这样获得的图像信号会存在非均匀性畸变,为此需要对彩色线阵CCD输出的R、G、B三个颜色分量的模拟信号进行校正补偿。校正模块就是要对图像的非均匀性畸变进行校正,消除镜头光能量分布不均的影响。

根据配置参数事先计算出每个像素的校正补偿参数,并将参数预存在校正模块的RAM中。当有R、G、B的模拟信号进入校正模块时,校正模块顺序取出预存的校正参数,经D/A转换成模拟信号与模拟的颜色信号相乘,校正后的信号再经过A/D转换得到RGB空间的数字信号。

4.3 颜色空间转换模块的设计

综合FPGA本身特点,将RGB色空间和HSI色空间转换流程如图6所示。

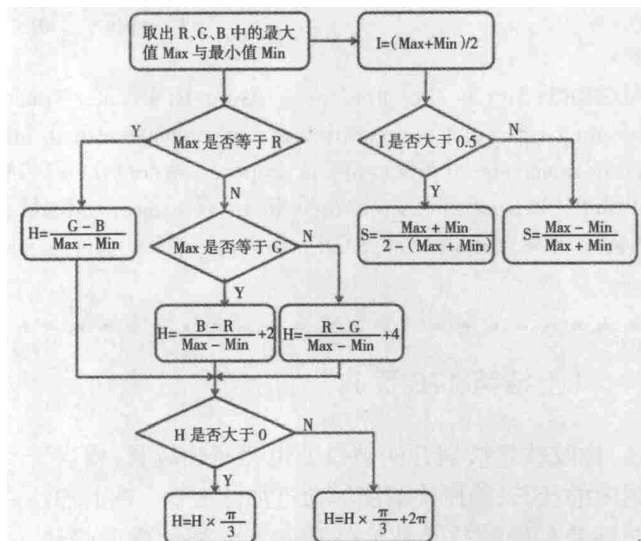


图6 转换算法流程图

根据上面的算法流程,可以利用VHDL进行文本输入描述各个功能模块,顶层利用原理图将模块和信号连接实现转换功能。在利用FPGA实现过程中,涉及到很多乘除法运算,可以调用QuartusII的可参数化宏模块,实现乘除法运算。在实现过程中涉及到一个关键问题:浮点数的乘除法。由于FPGA只能实现整数的乘除法,对于浮点数参与的运算以及结果为浮点数的运算,采用先放大后缩小的方法,即将浮点数放大一定倍数,取其整数部分,最后再将结果缩小相应的倍数。浮点数放大的倍数也需要在准确性和实时性方面折中。放大倍数太小会引起误差多大,使图像失真;放大倍数太大,占用资源多,同时会增加运算延时。习惯上采用一个字节,即8位作

为放大的倍数。这样就将转换过程中所有的数都统一到[0,255]范围。转换后得到的H、S、I三分量的数据输送到显示模块和判断模块,根据设置要求向执行机构发送剔除指令,完成异色物的剔除。

6 结束语

针对目前RGB色空间在色选机图像处理方面的问题,本文采用了HSI色空间模型重新设计了色选机图像处理的算法。HSI色空间因其颜色属性分离的特点,在图像处理方面有明显的优势。本文设计了RGB色空间到HSI色空间的转换,并成功在FPGA的硬件平台上实现,主要优点表现为以下几项:

(1) 降低了相机差异和光强变化对选别的影响。

Signal Processing System of Color Sorter Based on HSI Color Space

MA Chang-song, XU Li-ping, LIU En-shu, XU He-ping, WANG Xue-mei

(Research Institute of Physical and Chemical Engineering of Nuclear Industry Huahe New Technology Development Company, Tianjin 300180, China)

Abstract: Aim to the problem of using RGB color space in the color sorter image signal processing, a method of adopting HSI color space which is more consistent with human visual habit and visual psychology to improve the color sorter image signal processing is proposed. Adopt the FPGA to shift the signal from RGB color space to HSI color space. With the help of FPGA, improve the processing speed and get the system speed higher.

Key words: color sorter, RGB color space, HSI color space, FPGA

(2) 符合人类感知物体颜色的习惯,通过图形化的人机接口,降低了用户的操作难度和专业度要求。

目前该图像处理算法成功应用于核工牌彩色CCD色选机,在绿豆、无壳南瓜子和葡萄干的应用领域得到很好验证,既保证了稳定性又提高了色选效果,提高了色选精度,降低了色选带出比。

参考文献:

- [1] 高伟,王志衡,等.基于HSI颜色空间的棉花杂质高速实时检测方法[J].自动化学报,2008(7):729—735.
- [2] 袁奋杰,周晓,等.基于FPGA的RGB和HSV色空间转换算法实现[J].电子器件,201(8):493—497.
- [3] 黄倩.基于SOPC技术的色选方法研究[D].天津理工大学硕士学位论文,2010.

(上接第176页)

紧,橡胶软管被划开的破口处也会越收越紧,相当于封闭的状态,稳压检漏能够通过加注成功。然而加注防冻液后橡胶软管被液体充满有向外的变形趋势,破口处也变正向变大,防冻液顺着破口流出。

冷媒加注也有同样的问题,空调管路的水分来自供应商使用水给空调管路做密闭实验,虽然道工序使用压缩空气吹净,但管路里仍然或多或少残留水分。另外包括环境湿度、温度对抽真空加注都有影响。

5 结束语

综上所述,负压加注工艺过程参数及曲线可以直观地体现出加注过程的动态变化,通过对曲线、参数的研究可以从设备的角度解答与加注相关质量问题产生的原因,并辅助从工艺角度来完善解决问题的有效措施,因此无论设备还是工艺角度,加强对工艺过程参数、曲线的了解是至关重要的。

Primary Researches on Vacuum Filling Equipments' Filling Process Curve in Vehicle Plant

HU Ming, GU Bin

(SGMW Qingdao Branch, Manufacture Dep, Qingdao Shandong 266555, China)

Abstract: Introduce the Operation Cycle of Vacuum Filling Equipment. In order to understand better the in-process status of whole vehicle system and parameters, a new concept 'Vacuum Curve' born from practices will be used. With the help of 'Vacuum Curve' and process parameters, some quality problems caused by fluid filling in practice could be done.

Key words: vacuum, vacuum curve, leakage rate, stablization