

# 高速彩色线阵 CCD 三色错位修正方法的研究

刘 军<sup>1</sup>, 钟先信<sup>2</sup>, 李志敏<sup>2</sup>

(1. 解放军后勤工程学院自动化工程系, 重庆 400016;

2. 重庆大学光电技术及系统教育部重点实验室, 重庆 400044)

**摘要:** 为了改善图像采集的质量, 通过分析高速彩色线阵 CCD 三色错位产生的机理, 提出了三色错位的几种修正方法: 棱镜分光法、异步时钟控制曝光法、通过软件修正法。采用棱镜分光可以实现对红色、绿色和蓝色分量同时感光, 避免颜色错位; 改变现有 CCD 外围电路, 通过异步时钟控制曝光, 即调整 CCD 曝光的先后次序和延迟时间, 实现错位修正; 基于数据冗余与数据重新定位技术, 通过软件达到实时修正色彩错位的目的。该方法以 BASLER L301bc 彩色线阵 CCD 摄像机为例得到验证, 图像质量改善显著。

**关键词:** 图像处理; 彩色线阵 CCD; 色彩错位; 棱镜分光; 异步时钟; 数据冗余

**中图分类号:** TP391.4 **文献标识码:** A

## Correction of high speed tri-CCD color disorder

LIU Jun<sup>1</sup>, ZHONG Xianxin<sup>2</sup>, LI Zhimin<sup>2</sup>

(1. Department of Automation Engineering, Logistical Engineering University, Chongqing 400016, China;

2. College of Optical Electric Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** In order to improve the quality of image acquired, the causes of high-speed tri-CCD color disorder were analyzed, and several approaches including prismatic decomposition, exposure controlled by asynchronous trigger clock, and correction by software, are suggested for correction of high speed tri-CCD color disorder. A prism splitter can be used to enable tri-CCD to receive red, green and blue beams separately so that color disorder can be avoided. An asynchronous clock can be used to control the exposures so that the sequence and delay of tri-CCD exposures can be adjusted to avoid color disorder. Real-time correction of color disorder can be achieved through software modification using data redundancy and data relocation technology. Substantiations made with a BASLER L301bc tri-CCD showed that the quality of images was significantly improved.

**Key words:** image processing; color tri-CCD; color disorder; prism splitter; asynchronous clock; data redundancy

## 1 引言

电荷耦合器件 CCD (Charge Coupled Device) 是

由大量独立的光敏元件组成的新型半导体集成光电器件, CCD 摄像器件不但具有体积小、重量轻、功耗小、工作电压低和抗烧结等优点, 而且在分辨率、动态范围、灵敏度、实时传输和自扫描等

收稿日期: 2003-08-11; 修订日期: 2003-11-14.

基金项目: 国家计委基金资助项目 (计高技 [2000] 1882 号国家高科技产业化工业过程自动化专项“企业集成自动化系统”

方面的优越性也是其他摄像器件无法比拟的。目前, CCD 摄像器件已广泛应用于工农业生产及军事领域中, 在工业在线检测、空间遥感遥测、卫星侦察等方面应用尤为显著<sup>[1]</sup>。根据其光敏元件的排列方式的不同, CCD 可以分为面阵 CCD 和线阵 CCD 两大类型。面阵 CCD 广泛用于各种摄像机和数码相机等领域。线阵 CCD 主要用于产品尺寸的高速非接触检测<sup>[2]</sup>, 在线分级与加工, 表面质量评定<sup>[3]</sup>, 机器视觉中的精确定位等。其中, 线阵 CCD 又可分为单色线阵 CCD 和彩色线阵 CCD。它们的工作原理大体相同: 景物图像通过光学成像系统成像在 CCD 的光敏区上, 光敏区在光的作用下产生光生电荷存储于光敏 MOS 电容势阱中, 光生电荷的多少取决于作用于光敏区的光照强度。当移位脉冲到来时, 线阵光敏阵列势阱中的信号电荷并行移到移位寄存器中, 最后在时钟脉冲作用下, 逐位移出器件, 经可变增益控制放大后, 送至 A/D 转换器进行数字化, 转换结果被存入存储器中进行数字图像的合成, 然后再对合成图像进行处理与分析。在各种非接触检测与控制系统广泛应用的今天, 图像采集质量的好坏直接影响到处理或判决的结果, 而图像质量的优劣在很大程度上又取决于 CCD 的成像性能。可以说, CCD 是整个系统的“眼睛”。近几年, 随着光电产业的迅速崛起, CCD 固体图像传感器已经成为业界关注的焦点。

结合“烟草在线异物剔除系统”<sup>[4]</sup>的研制过程, 对高速彩色线阵 CCD 应用于该系统出现的三色错位现象进行了分析, 阐述了错位产生的原因, 介绍了几种修正错位的方法, 最后以 BASLER L301bc 为例, 提出数据冗余与数据重新定位两项技术, 在软件中实现了对三色错位的修正。

## 2 三色错位产生机理

在“烟草在线异物剔除系统”的图像采集与处理系统中, 要求摄像装置能够快速获取图像数据, 并且该图像数据要尽可能包含颜色信息。为此, 摄像装置采用了德国 BASLER L301bc 高速彩色线阵 CCD。该款 CCD 具有速度快 (像素时钟可达 60 MHz/s), 信噪比与灵敏度高, 防眩光干扰以及输出数据位数可编程控制等特点, 广泛应用于高速在线检测与控制等场合。在烟草异物剔除系统的研制过程中, 发现采集的物料图像有如下问题: 图像质量

不高, 存在颜色错位, 错位程度随物料相对于 CCD 运动速度的改变而改变。当物料 (以烟叶为例) 运动较慢时, CCD 摄取的图像如图 1 (a) 所示, 比较昏暗、模糊, 且图像边缘处有明显的颜色错位存在, 自上而下依次为蓝、绿、红; 当烟叶高速运动 ( $> 3 \text{ m/s}$ ) 时, 这种颜色错位情况依然存在, 但错位程度比在低速运动时小, 如图 1 (b) 所示。



(a) 低速下采集的图像

(a) Image grabbed at low speed



(b) 高速下采集的图像

(a) Image grabbed at high speed



(c) 图像 (a) 纠正后

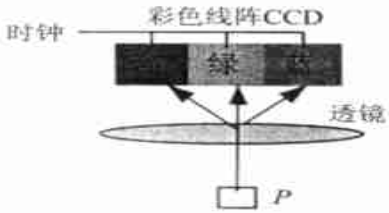
(a) Corrected image of (a)

图 1 不同速度下所采集的图像质量对比

Fig. 1 Contrast of images grabbed at low and high speed

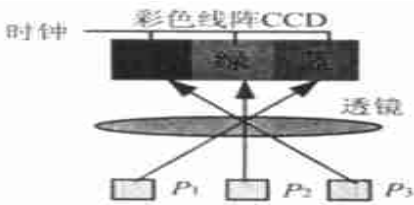
分析发现, 这种颜色错位现象是由 BASLER L301bc 彩色线阵 CCD 摄像机的硬件结构造成的。其彩色线阵 CCD 有 3 列间距均为 112  $\mu\text{m}$  的光敏元件, 分别用于感光置于同一位置  $P$  的物体的红、绿、蓝颜色分量, 通过 A/D 转换后, 再将 3 列 CCD 感光的图像数据合成复原为位置  $P$  物体的数字图像。然而, 由于 BASLER L301bc 摄像机的 3 列 CCD 是在

同一触发脉冲的控制下同时工作的, 这三列 CCD 并不是对同一位置进行感光, 而是对前后有一定间隔的 3 个位置分别进行感光, 显然它们重叠后合成的图像比较昏暗、模糊。颜色错位形成机理如图 2 所示。



(a) 期望的工作原理

(a) Desired design



(b) L301bc 的工作原理

(b) Actual design of L301bc

图 2 三色错位产生机理

Fig. 2 Mechanism of color offset

图 2 (a) 是彩色线阵 CCD 期望的工作机理: 景物的光学图像通过一透镜组或分光棱镜完成红、绿、蓝各波段的分离, 由 3 列 CCD 同时进行感光后, 再合成数字图像。这样合成的图像能够准确、清晰地反映原始图像。图 2 (b) 就是 BASLER L301bc 彩色线阵 CCD 的实际工作机理: 在同一个时钟的控制下, 3 列 CCD 所感光的位置有一定的间隔,  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$  分别被蓝色、绿色、红色 CCD 感光, 合成的图像由  $P_1$  的蓝色分量、 $P_2$  的绿色分量、 $P_3$  的红色分量叠加而成, 显然该图像将会昏暗、模糊。在被摄物料相对 CCD 作高速运动时, 错位程度随之变小。

当某一物体相对 CCD 高速运动时 (如图 3 所示), 在 CCD 像素感光的时间  $T$  (像素时钟的倒

数) 内, 物体要移动一定的距离, 相当于物体之间的间距减小。于是, 3 列 CCD 传感器分别感光该物体  $G$  的时间间距也将减小, 叠加后, 红、绿、蓝相互错位的像素行数将随之减少, 图像的清晰度亦随之提高。另外, 颜色错位的行数又与物体的相对运动速度  $v$ 、物距  $u$ 、焦距  $f$ 、像素时钟  $1/T$ 、相邻两列 CCD 的间距等都有关系。设任意两列相邻的 CCD 对焦中心距离为  $x$ , 物体以速度  $v$  走完距离  $x$  需要时间为  $t$ , 如图 3 所示。相应关系式如下:

$$r_0/f = x/u, t = x/v, \Delta N = t/T, \quad (1)$$

根据以上关系, 可以得出颜色错位行数  $\Delta N$  与诸因素的关系:

$$\Delta N = r_0 \times u/f \times T \times v, \quad (2)$$

$\Delta N$ : 颜色错位的像素行数;

$r_0$ : 相邻 2 列 CCD 的间隔距离;

$u$ : 物距;

$v$ : 物体的相对速度;

$f$ : 焦距;

$1/T$ : 像素时钟。

在实际应用中, 一旦设备选定并安装完毕后, 物距  $u$ 、焦距  $f$ 、像素时钟  $1/T$ 、3 列 CCD 的间距  $r_0$  一般都是固定的, 变化的只是物体的相对运动速度  $v$ 。根据式 (2) 知, 颜色错位像素行数与速度之间存在唯一的对应关系, 即物料运动速度  $v$  越快, 颜色错位的像素行数就越小, 图像越清晰。

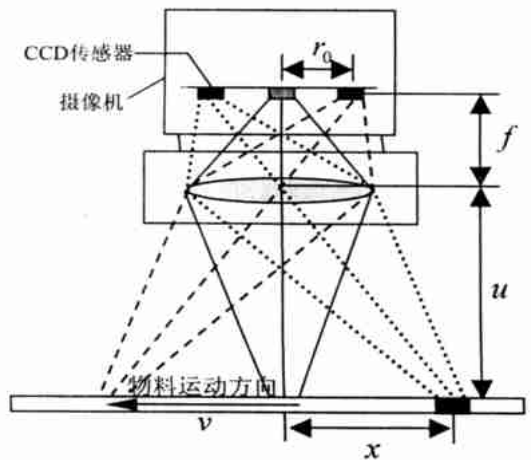


图 3 相对位置示意图

Fig. 3 Schematic of relative position

### 3 三色错位修正方案

由彩色线阵 CCD 摄像机的结构带来的这种彩色图像的 3 色错位, 严重影响了图像原始数据的真实性和有效性, 如不加修正, 无论后期处理算法有多优越, 系统的整体性都会受很大影响。为此, 根据问题产生的原因, 提出了几种改进方案, 并实现了基于数据冗余与数据重新定位的软件修正。

#### 3.1 通过棱镜分光修正

由上述对三色错位产生机理的分析可知, 错位产生的本质原因是 3 列 CCD 感光的不是同一位置的图像, 而在还原图像时将之当成同一位置进行处理。因此, 如果将同一束光根据红、绿、蓝不同波段进行分离, 然后让 3 列 CCD 分别感知不同波段的光, 这样进行图像合成, 就避免了 3 色错位。棱镜分光装置的基本原理如图 4 所示。

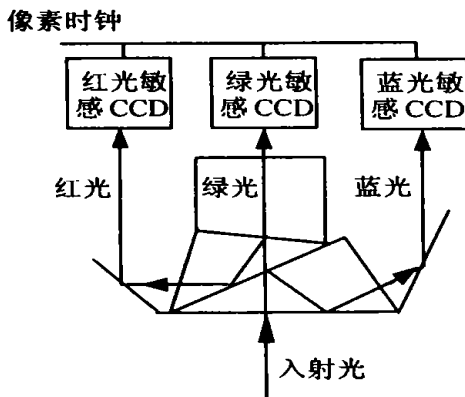


图 4 分光棱镜示意图

Fig. 4 Sketch of beam splitter

在棱镜的边缘镀上具有选择波段特性的反射膜, 当一束入射光进入棱镜后, 在第 1 个反射面上将波长在 400~500 nm 范围内的蓝色光反射回来, 而将其余的光波全部透射出第 1 个透镜; 同理, 在第 2 个透镜反射面上, 将波长在 500~600 nm 范围内的红光反射回来, 再在第 1、2 棱镜边缘发生全反射, 将红光分离出去; 绿光可以直接穿过 3 个棱镜。同一束光被分开, 分别让 3 列 CCD 同时感光。这种方法从硬件上彻底解决三色错位的产生根源, 可以完全消除这种三色错位现象。

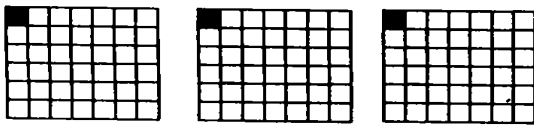
#### 3.2 通过异步时钟控制曝光修正

通过棱镜分光修正原理很简单, 但是制作工艺复杂、对精度和成本的要求都极高, 且受各种震动以及环境干扰的影响较大。因此, 该法仅适用于少数专业的摄像领域。在不改动 CCD 硬件的情况下, 可以通过改变其外围电路来实现对这种错位的修正。对 BASLER L301bc 而言, 其 3 列 CCD 在同一个像素时钟的触发下, 同时进行曝光。由于位置上的差异, 同时触发曝光使不同位置的图像同时曝光并合成, 从而导致颜色错位。如果根据颜色错位的行数和物料相对摄像机的输送方向 (决定 CCD 曝光的先后次序: 是对红光敏感的 CCD 最先曝光, 还是对蓝光敏感的 CCD 最先曝光), 调整 CCD 曝光的先后次序和延迟时间, 使同一位置的图像分别被 3 列 CCD 感光, 然后再合成清晰的图像。此方法需要生产厂家来改进实现 (目前 BASLER L301bc 的改进型产品 BASLER L301kc 已经面世, 修正了此弊端<sup>[5]</sup>), 但是, 这种方法是牺牲曝光速度为代价来达到修正目的的, 只有当速度要求不是太高时, 可以通过此方法进行修正, 其优点是节约了宝贵的处理时间。

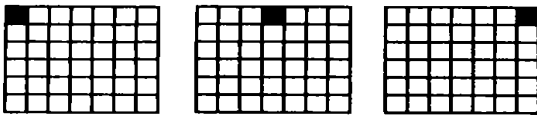
#### 3.3 通过软件修正

上述两种方法均需要对硬件进行设计或改进, 在对现有的设备进行处理或改进有一定的难度的情况下, 考虑通过软件来实现三色错位的修正。针对 BASLER L301bc 摄像机, 拟采用数据冗余与数据重新定位的方法实现对三色错位图像进行修正的目的。在 CCD 所摄数据经采集卡采集后<sup>[6]</sup>, 将红、绿、蓝 3 分量图像数据分别放进存储器中  $M_R$ 、 $M_G$ 、 $M_B$  3 个独立的内存区中, 见图 5。在不发生错位的情况下, 3 列 CCD 在同一时钟控制下所采集到的数据在 3 块内存区中应该具有相同的排列, 只是不同的分量而已, 这样把 3 块内存数据叠加在一起就完全还原了数据 (如图 5 (a))。假设 R、G、B 之间错位各为 2 个像素, 这样, 同一位置的红、绿、蓝数据在内存中的排列就会有 2 个像素的间隔。即某一点  $x$  沿着垂直于 CCD 的方向运动时,  $x$  点首先被对红色敏感的 CCD 感光, 并将采集的数据存入  $M_R$  中的第 1 个位置, 此时对绿、蓝光敏感的两列 CCD 采集的数据是  $x$  点的前方 2 点 (绿) 和 4 点 (蓝) 的物体颜色信息; 待  $x$  点运动到对绿色敏感的 CCD 感

光的区域时, 该列 CCD 将该点的数据存入  $M_g$  中, 而此时  $x$  点的绿色分量在内存中所存放的位置就不是在  $M_g$  中第 1 个位置, 而是有两个像素的错位; 蓝色分量也是如此, 其在  $M_B$  中所存放的位置较之在  $M_C$  中又有两个像素的错位。所幸的是这种错位在物体相对运动速度稳定的情况下是固定的, 见式 (2), 这样在后续图像合成时, 改变三分量合成数据的起点, 将合成图像所用的数据进行重新定位, 即新合成图像的绿色分量有效数据从  $M_R$  的第 1 个位置开始, 而绿色分量有效数据从  $M_C$  的第 4 个位置开始。同理, 蓝色分量有效数据从  $M_B$  的第 7 个位置开始 (如图 5 (b)), 这样合成的图像就是现实景物清晰真实的图像。



(a)合成图像时数据的r,g,b期望起始位置  
(a)Start point of R,G,B in desired situation



(b)重新定位数据的r,g,b起始位置  
(b)Start point of R,G,B in corrected situation

图 5 图像数据二次定位

Fig. 5 The second location of image data

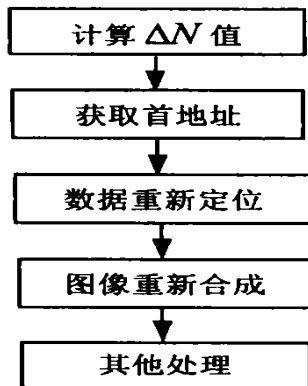


图 6 颜色错位修正算法

Fig. 6 Algorithm of color disorder correction

对 BASLER L301bc 彩色线阵 CCD 摄像机而言, 其三色错位的软件修正流程图如图 6 所示。

其软件实现修正的部分伪代码如下:

```
CorrectColorDisorder ( lpFileName)
{
    N= ComputeTheValue ( v); // 根据公式 2, 只有速度 v 是参数。
    if ( DivideRGBFromBitmap ( LPSTR lpFileName) == true) // 完成数据分离
    {
        lpR= lpR; // 红色分量数据重新定位
        lpG+ = ΔN; // 绿色分量数据重新定位
        lpB+ = 2ΔN + 1; // 蓝色分量数据重新定位
        ComposeBitmap ( lpR, lpG, lpB); // 图像合成
    } else { Others processing; }
```

依照此算法对图 1 (a) 进行修正, 修正后的结果见图 1 (c), 图像很清晰, 没有错位。由于此操作仅在内存中进行, 处理速度快, 能够实现实时处理的要求, 图像质量改善效果很好。这样, 既不需要改动摄像机光路结构, 也不需要重新设计触发时钟, 可以很方便地对现有设备进行改造, 达到了通过软件实时修正三色错位的目的。

#### 4 结束语

通过对彩色线阵 CCD 三色错位产生机理的深入分析, 介绍了三色错位的几种修正方法。作者针对应用于“烟草异物剔除系统”的 BASLER L301bc 高速彩色线阵 CCD 摄像机, 提出了基于数据冗余与数据重新定位技术, 通过软件实现了对三色错位图像的修正, 由于此操作只在内存中进行, 操作速度快, 能够实现实时处理, 图像质量改善显著。

## 参考文献:

- [1] 王庆有. CCD 应用技术 [M]. 天津: 天津大学出版社 2000. 11.  
WANG Q Y. *Application technology of CCD* [M]. Tianjin: Publishing Company of Tianjin University. 2000. (in Chinese)
- [2] 张盛彬, 王庆有, 郭青. 彩色线阵 CCD 用于物体尺寸精密测量的研究 [J]. 光电子·激光. 2001, 12 (11): 1159-1161.  
ZHANG SH B, WANG Q Y, GUO Q. A study on target size automation measurement using color linear CCD [J]. *Journal of Optoelectronics Laser*, 2001, 12 (11): 1159-1161. (in Chinese)
- [3] 蔡弋, 黄成伟, 李庆祥, 等. 基于图像识别的动物纤维细度自动测量系统 [J]. 光学 精密工程. 2002, 10 (3): 239-242.  
CAI Y, HUANG CH W, LI Q X, *et al.* Automatic animal fibre measurement system based on image analysis [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2002, 10 (3): 239-242. (in Chinese)
- [4] 刘军, 钟先信, 李志敏, 等. 烟草在线异物剔除系统 [J]. 计算机测量与控制. 2003, 9 (2): 388-391.  
LIU J, ZHONG X X, LI ZH M, *et al.* System for removing foreign material in tobacco flows [J]. *Computer Measurement & Control*, 2003, 9 (2): 388-391. (in Chinese)
- [5] BASLER. *L301kc user's manual* [M]. Germany: Basler Vision Technologies. 2002.
- [6] 陈杰, 李志敏, 钟先信, 等. 高速物流图像采集与实时异物剔除的原理及实现 [J]. 光学 精密工程, 2002, 10 (5): 454-458.  
CHEN J, LI ZH M, ZHONG X X, *et al.* Principle and realization for data acquisition of high speed logistics images and of real time foreign material elimination [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2002, 10 (5): 454-458. (in Chinese)

作者简介: 刘 军 (1978-), 男, 安徽界首人, 2000 年在重庆大学理学院获理学学士学位, 2003 年在重庆大学光电工程学院获工学硕士学位, 已公开发表论文多篇, 主要研究方向为图像采集、处理以及光电检测。