

CCD 信号失真的复原

付红旭 樊天放 张旭 (沈阳工业大学 信息科学与工程学院 110023)

摘要: CCD 是一种基本的图像传感器,随着数码产品中在生活中的泛应用,对 CCD 产品需求也越来越多,CCD 拥有传统的感光系统无可比拟的优势,所以在视频采集设备中所占的比重 CCD 的年需求量以每年超过 300% 的速度飞速发展。但由于它的各级别产品差异很大,民用级别的产品性能不高,有许多固有的缺陷,限制了它的发展。本文这是针对这一缺陷,用软件实现了对 CCD 采集的图象进行无损还原,从而提高了图象质量。

关键词: 图象增强 降噪 A/D 数模转换 动态范围 RGB 值

1 引言

本文针对 CCD 产品在飞速发展的同时,本身所固有的一些缺陷提出解决方法。相对不断攀升的像素而言,CCD 产品图像质量的改善则相对缓慢。尤其是在普及型产品上,随着集成密度的不断升高,CCD 本身的

2 CCD 工作原理简介

CCD 是一个有许多感光单元组成的光电转换器件。每个感光单元都能够独立的进行光电转换。感光单元的组成结构如图 1 所示。

CCD 系统的工作流程如图 2 所示。

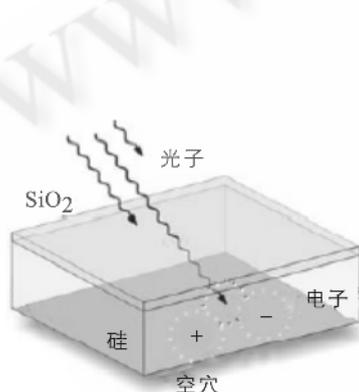
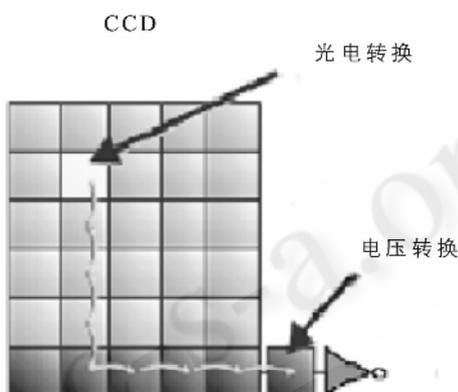


图 1 CCD 感光单元组成结构

信噪比不断下降,图像质量不断恶化。目前对这一问题的解决方法主要是通过提高图像的边缘色彩对比度对图像进行锐化。这种方法可以明显的改善图像的清晰度,但同时它对图像本身是有损害的。它并不是还原一个清晰的图像,而只是提高了视觉上的色彩对比,使人们在主观上感觉更清晰了而已。本文提出的图象增强的方法,具有运行效率高、无损、效果明显等特点。在下面的文章中将对这种方法的工作原理和实现方法进行详细的说明。



光线通过镜头到达 CCD,经过彩色滤镜后到达 CCD 的感光点阵。在光线的作用下 CCD 感光单元产生电荷积累。不同的光照强度使点阵中的各个感光单元产生不同的电压,逐个读出后形成模拟信号,由模拟信号通道读出。再经由 A/D 转

换由数字信号通道输出。一块封装好的 CCD 一般包括的主要参数如表 1 所示。

一块 CCD 所得到图像的好坏主要取决于以上各个参数,更大的感光面积和更高的分辨率可以得到更加细腻逼真的图像,但同时也会使制造成本迅速上升。缩小 CCD 的面积可以降低成本,但是其信噪比和动态密度却很难保持在较高水平上。CCD 的一个重要指标是动态范围。它的每一个感光单元(感光泡)是动态的,不象传统的感光胶片是静态的。它的动态范围取

决于它的物理特性。一般民用的 CCD 的动态范围是 1 或者 2, 而专业 CCD 的动态范围是 3 或者 4。CCD 一般分为两大类: 线性 CCD 和面阵 CCD。线性 CCD 一般用于扫描类设备, 如扫描仪等。面阵 CCD 大多用于需要快速成像的设备, 如数码相机、数码摄像机等。在同等技术水平和生产工艺条件下, 线性 CCD 的性能和质量一般好于面阵 CCD。

表 1 CCD 模块主要参数

名称	含义
分辨率	感光单元的数量, 分辨率越高, 所产生图像的信息量就越大。
感光单元尺寸	每个感光单元的尺寸。尺寸越大则 CCD 信噪比越高。
感光区总面积	CCD 可感光区域的物理尺寸。
感光度	感光单元的灵敏度。
信噪比	A/D 转换器的信噪比, 信噪比越高, 图像的噪音就越少。
动态密度	对高频率信息的表现能力, 动态密度越高则图像细节越多。
动态范围	动态范围的计算公式: $\lg(\text{Lummax}/\text{Lummin})$ 其中 Lum 是亮度单位。

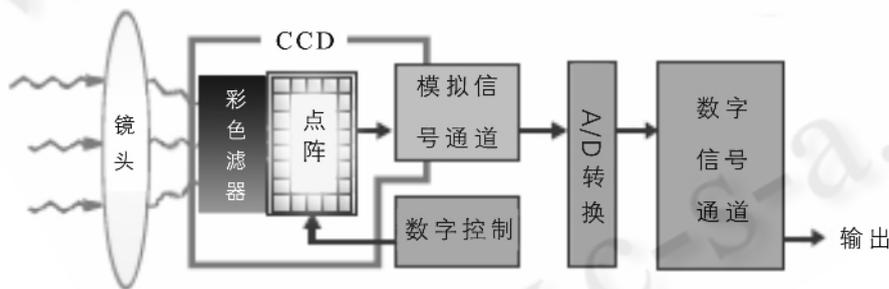


图 2 CCD 系统的工作流程图

3 对 CCD 信号质量的分析

CCD 本身应该属于数字信号器件, 应该有较强的抗干扰能力。但是从 CCD 中读出的原始信息是模拟信号, 所以只有当感光单元中所积累的电荷被最终转变为数字信号之后, 图像信息才能够被无损的保存和传递。而在这之前, 图像的原始信息会受到各种各样的干扰, 产生各种形式的失真。下面就对产生失真的主要原因进行说明。

在 CCD 系统中最先导致失真的就是感光单元, 感

光单元的几何尺寸和物理特性直接影响了 CCD 输出的图像质量。几何尺寸较大的感光单元拥有更大的有效感光面积, 能够为图像中的每个像素提供更加精确的亮度值。同时, 较大面积感光单元之间的信号干扰也更小。

在同等像素级别的 CCD 之间, 大面积的 CCD 能够输出清晰亮丽的图像。但是 CCD 的面积受到生产工艺、技术水平、成本等多方面的约束, 不能无限制的扩大。尤其是在追求性价比的低端产品上, CCD 的面积实际上并没有扩大多少。导致 CCD 输出图像失真的另外一个重要原因就是 A/D 转换器。A/D 转换器有两个关键指标, 转换频率和转换精度。高的转换精度可以使 CCD 输出的图像具有丰富的层次, 快的转换频率则可以使 CCD 提高输出速度。但是, 高精度快速 A/D 转换器价格昂贵, 在中低端产品上大多不会使用。

4 信号还原原理

信号还原就是要将由于各种干扰所产生的失真恢复到原来的状态。还原的方法还是要到产生失真的原因

因中去找。从前面表述的 CCD 工作原理和产生失真的原因可以看出, 无论是由于 CCD 感光单元产生的失真还是由于 A/D 转换器产生的失真, 其表象都是无法完整的传递和转换图像的高频信息。高频信号的失真在模拟信号处理中是一个老问题了, 目前的解决方案大多是对高频信号进行增益放大。但是, 这种放大是没有选择的均衡放大, 图像锐度提高的同时也增加了噪音。因此, 要想对信号进行还原就要将失真信号同其他信号分离出来进行单独处理。我们做过这样的实验, 使用两台不同的设备对同一物体进行扫描, 由于受自身特性的影响, 前者使用一台电子分色仪扫描, 而后者使用一台普通的扫描仪扫描, 结果前者可以得到锐利的灰度变换, 而后者无法表达出快速的灰度跳变, 灰度值由低到高只能慢慢变化。这里的灰度值都是由 CCD 感光单元感应并通过 A/D 转换器转换而得到的。因

对高频信号进行增益放大。但是, 这种放大是没有选择的均衡放大, 图像锐度提高的同时也增加了噪音。因此, 要想对信号进行还原就要将失真信号同其他信号分离出来进行单独处理。我们做过这样的实验, 使用两台不同的设备对同一物体进行扫描, 由于受自身特性的影响, 前者使用一台电子分色仪扫描, 而后者使用一台普通的扫描仪扫描, 结果前者可以得到锐利的灰度变换, 而后者无法表达出快速的灰度跳变, 灰度值由低到高只能慢慢变化。这里的灰度值都是由 CCD 感光单元感应并通过 A/D 转换器转换而得到的。因

此进行信号还原的关键就是要将 CCD 输出图像的灰度曲线还原成原来的形状。通过实验,我们发现,信号的真实灰度与失真灰度的主要差别在于大跳变值的表达能力。当图像出现明暗交替时,A/D 转换器无法在很短的时间里完成由高电压到低电压的转换工作。从对图像上的分析也可以看出,图像从明亮的部分转到较暗的部分无法在两三个像素内完成,而是需要十个像素左右。这使得图像的边缘部分变的模糊不清。因此,要想将图像进行还原,就需要对过渡过程进行压缩,使其在两到三个像素之间完成。

5 还原算法设计

还原算法要完成两件事情,一个是找到灰度值的跳变点,第二个是将跳变点的过渡区间进行还原。我们先将扫描到的 BMP 图像读出,然后分析出灰度曲线(灰度曲线,它的横坐标为图象的每一行的横坐标,纵坐标为在这一行上每一个点的灰度值)。BMP 图像存储结构的第一部分是 BMP 文件头:前 2 个字节是“BM”,是用于识别 BMP 文件的标志;第 3、4、5、6 字节存放的是位图文件的大小,以字节为单位;第 7、8、9、10 字节是保留的,必须为 0;第 11、12、13、14 字节给出位图阵列相对于文件头的偏移。第二部分是点位图信息:从第 29 个字节开始,第 29、30 字节描述的是像素的位数;第 35、36、37、38 字节确定图像字节数的多少,但通常此项为空。第三部分是位图阵列:从第 39 个字节开始,每 3 个字节表示一个像素,这 3 个字节依次表示该像素的红、绿、蓝亮度分量值(0~255)。这样我们就可以根据它的存储数据结构得到这条曲线的横纵坐标和它的灰度值,将它存放数组里(由于这个不是本文重点,所以不对读取过程做详细描述)。

灰度值跳变点的查找过程分为以下几步。首先要 求曲线的拐点,即通过 A/D 数模转换器将信号的灰度值读出,由此我们就可以得到采集的信号灰度曲线(这里需要注意,每一个感光泡读出的数据应该是 RGB 三原色值,即为每一个点值都有三个数值(0~255),因此我们在处理的过程中,需先将三原色值分开处理,以分别得到三条灰度曲线,然后对每条曲线分别进行还原,最后再将处理过的单色灰度值按每一个像素点进行合并,最后才能得到一个包含三原色的信号灰度

值,然后根据得到的灰度曲线,对他们求导,这样就可以得到曲线的拐点。

```
float group_derivation[]; //用于存放导数
int x_former,x_rear,y_former,y_rear,i; //坐标声
名
start_x_former=0; //从图像的最左端开始,所以
坐标是 0
i=0,j=1;
for(x1=x_former,y1=start_y;(x1+step)<=
end_x;) //所有点的灰度值的纵坐标都放在 y_array
()里面。
{
y_former=y_array(i);
y_rear=y_array(+i);
group_derivation[i]=(y_rear-r_formei)/
step; //导数为此点的前一点与后一点的灰度差与步
长的商,通常我们先选步长为 1
i=i+step;
j=j+step;
}
for(i=2;i<i_max;i++)
{
if((group_derivation[i-1]&&group_derivation
[i+1])<0) //左右导数之积小于 0,说明此点为曲线
的最值点
group_derivation(i)=0;
}
```

如此所有点导数就存在了数组 group_derivation[]里,当然,这里不是每一个导数为 0 点以上面公式求出结果一定为 0,由于受波形限制,有些灰度曲线是平滑的,有很多是尖型的,就是这一点的左导数和右导数是符号相反的,那么我们也认为这一点的导数为 0,同时可以对求得结果值小于 0.05 的都认为导数是 0,然后将所有导数等于 0 点找出,准备下一步。

第二步计算两个拐点之间的像素的阈值,接着和标准间距比较,我们的检测间距是 7,这个间距是在 2400dpi(点/英寸)的情况下设定的。如果这个阈值与 7 比较的结果相差不大,而在这个间距内灰度值产生大的跳变,则可认为这个拐点区域就是需要还原的区

域,也就是说,这里是由于明暗变化大,而 CCD 由于自身的物理特性(即在明显的明暗交替时,高低电压的转换未能及时的反映)未能真实转换的区域,也就是我们需要处理的区域。这里需要我们注意,我们必须从 0 点开始,比较所有点,然后将所有符合条件的点都记下,也就再建立一个数组,然后,对应于相应的坐标,将要处理的点都成对的做以标记,准备下一步处理。

接下来,就是进行还原算法的设计了。处理起来很简单,我们这时只要将两个拐点之间的曲线变陡,拉大亮度差,即可还原原来的图像,由于所有符合条件的点都是一组组成对出现,这样我们处理起来就好办多了。对于高亮度的拐点,进行增益,也就是把此拐点包括左右的像素点的灰度值调高,存入数组 $yy[]$;对于低亮度的拐点,进行减损,也就是把此拐点包括左右的像素点的灰度值调低,也存入数组 $yy[]$ 。这样,就可以是灰度曲线变陡。也就是还原了原来的图像,这种还原是无损的,对于那些阈值大的,例如 10 个像素点以上的,我们不做处理,这样,对于那些正常变化的无明显的明暗变化的灰度值区域我们就没做处理。

在进行完上述处理以后,我们将分别处理过三原色灰度曲线的值按像素点合并,得到每一个像素点的三原色的 RGB 值,这时经过处理后的像素点的 RGB 值就已经很接近真实的图象了。

6 降噪

由于在 A/D 转换过程中,受一些实际环境的影响,在灰度曲线呈现缓慢的上升或者下降的情况下,会出现在本来灰度变化不大的地方,产生灰度的周期性变动,例如,在拍摄白墙的时候,受自然条件的影响,会有灰点。这个在灰度表上的反映是在多个周期内,灰度存在周期性的跳变。在 2400dpi 的情况下,指定间距为 8 个像素点,多个周期内存在某些跳变,振幅为 10 个像素左右。这个就是在数模转换时产生的噪音颗粒,对于这种噪音我们应该将其曲线变为平滑曲线,对于不是周期性的跳变我们不做处理。

具体实现方法是,对于上面介绍产生的噪声,我们采取的方法是,在求导之后,对导数为 0 的多个连续点,他们相临两个点之间的 x 轴距离即像素点距相差不大(在 6 和 10 个像素点之间一般为 8 个),同时,他

们每两个相临点在 y 轴上的间距也是相差不大或者大致相等(在 20 个灰度值以内),他们的曲线比较平滑,这时,在这个导数为 0 的几个点之间的一段曲线是存在噪音的,我们记录下周期存在跳变的曲线的两个端点,然后根据两个端点的横纵坐标计算出它的斜率 t ,接着将这条曲线改成斜率为 t 的斜线,即求出 $y = tx + b$ (b 为常数),然后,根据这个公式,将每一个像素点的灰度值用这个公式得出的结果填充,这样就将噪声去掉了。由于篇幅所限,同时也由于在这方面的研究已经很多,我们这里就只介绍原理,不做代码的详细表述。

7 结束语

通过以上方法,我们实现了对 CCD 采集数据的还原处理和降噪,解决了现在民用数码产品的数据采集过程中,对图像的无损还原处理,这样就用软件实现了价格昂贵的硬件产品所实现的图像还原处理。现在,我们正在研究使用傅立叶变换解决图像的无损处理。可以大大提高处理的效率。现在数码产品开发和应用的日益广泛,使用上述方法可以大大降低数码产品的生产成本,使民用级数码产品所拍摄的图像质量也能达到专业级数码产品所达到的质量。

参考文献

- 1 刘俊刚, CCD 摄像器件, 半导体光电, 1994. 2。
- 2 刘俊刚, 帧转移 CCD 摄像器件, 半导体光电, 1994. 4。
- 3 刘文耀, 光电图象处理, 电子工业出版社, 2002. 3。
- 4 中科院遥感测绘研究所, 中国图形图像学报, 2004 - 1, 2003 - 11。
- 5 倪明田、吴良芝, 计算机图形学, 北京大学出版社, 1999 - 11 - 1。
- 6 (美) Thomas H. Cormen Charles E. Leiserson Ronald L. Rivest Clifford Stein 算法导论(第二版 影印版), 高等教育出版社, 2002 - 05 - 01。
- 7 Don Hutchison, Mark Yannotta, 计算机数学基础, 清华大学出版社, 2004 - 09 - 01。
- 8 (美) David F. Rogers, 计算机图形学的算法基础(原书第 2 版), 机械工业出版社, 2002 - 01 - 01。