

CMOS 图像传感器彩色像素排列新方法和彩色图像恢复技术

陆明莹, 王国裕, 张红升, 易满星, 贾新力

(重庆邮电学院 微电子工程重点实验室, 重庆 400065)

摘要: 介绍一种彩色 CMOS 图像传感器芯片的彩色像素排列新方法, 以及区别于传统方式的新图像采集方法。然后介绍在这种算法下, 接收端为了恢复彩色图像所作的插值和平衡技术。彩色平衡技术从图像中提取三原色 R、G、B 信息, 用数字图像处理技术使原来不平衡的彩色图像恢复平衡。首先找出 G 信号的峰值 G_{pw} , 并在此 G_{pw} 处找出 R 和 B 的峰值 R_{pg} 和 B_{pg} , 再从整幅图像中找出 R 和 B 信号的峰值 R_{pw} 和 B_{pw} , 共五个峰值, 然后作判断, 直到认为彩色平衡为止。

关键词: CMOS; 图像传感器; 图像恢复; 彩色插值; 彩色平衡

中图分类号: TP212 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-5868(2005)S-0073-03

New Methods of Color Mosaic and Color Balance for CMOS Image Sensor

LU Ming-ying, WANG Guo-yu, ZHANG Hong-sheng, YI Man-xing, JIA Xin-li

(Lab. of Microelectron. Eng., Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, CHN)

Abstract: A new method of color mosaic array for CMOS color image sensor and a new sampling method to the color mosaic array are introduced. A novel color balance and an interpolation method of color array are proposed at post image processing. The color balance method extracts R, G and B primary colors from the original unbalanced image and recovers color using DSP method; finding R, G and B peak values. G_{pw} , R_{pw} and B_{pw} , from whole image, and finding the R_{pg} and B_{pg} values at the place of R_{pw} ; then using these five values as primary elements to judge the color balance of the image, and adjust the ratio of each primary color till the color balance is reached.

Key words: COMS; image sensor; image recover; color interpolation; color balance

1 彩色 CMOS 图像传感器的结构

1.1 CMOS 图像传感器的基本构成

CMOS 图像传感器由像素阵列、扫描电路、放大电路、驱动电路、自动曝光控制电路、A/D 转换电路、色彩平衡计算电路等组成。传感器的内部结构如图 1 所示。

(1) 像素阵列由二极管阵列构成。先对二极管反向充电, 使其在光照条件下放电。每个二极管接收的光强不同, 它们的放电速度就不一样。在一定的放

电时间以后, 每个二极管上保留的电荷就不一样。

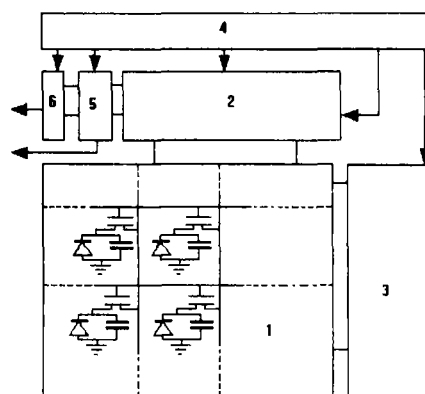


图 1 CMOS 图像传感器的内部结构

收稿日期: 2004-11-22.

通过逐一扫描二极管阵列,就可以得到一幅图像电信号。

(2)扫描电路控制像素阵列的读出。竖直方向的扫描电路从上到下依次读出每一行像素。读出的电信号存储在电容上。水平方向的扫描电路从左到右依次读出每一列的每个像素。

(3)自动曝光控制电路先对光的强弱进行比较,根据光的强弱不同,自动调节像素的积分时间。图像很亮,就缩短积分时间;图像暗,则延长积分时间,以保证在不同的光强照射下都能得到亮度适中的图像,扩大传感器工作的光强范围。

(4)放大电路:由于每个像素面积很小,所存储的电荷量就很小,通过放大电路多级放大,保证有足够的输出驱动能力。

(5)A/D转换采用逐次逼近法,利用传感器中已有的自动增益电阻链实现。它将传感器输出信号转换为数字信号输出,使传感器容易和其他数字设备接口。

1.2 彩色图像传感器像素排列方式

传统的彩色图像传感器用三片式的摄像方法,把自然界的图像分别用三色提取。从原理上讲,三片式彩色图像传感器可以获得很高的分辨率,但是它成本高,而且需要对红(R)、绿(G)、蓝(B)信号作重合调整,调整工艺复杂,同时还使体积增大。为实现单片彩色图像传感器,我们引入彩色滤色器阵列CFA,在黑白CMOS图像传感器的基础上,增加彩色滤色结构和彩色信息处理模块就可以获取彩色图像。在CMOS图像传感器的像素上覆盖此规则的彩色滤色器阵列,就可以获得图像的彩色信息,再经过彩色信息处理,就可以获得色彩逼真的彩色图像。

从原理上讲,采用R、G、B垂直条重复间置的栅状滤色器完全适合于CMOS彩色图像传感器。此时CMOS图像传感器对R、G、B分量采用完全相同的采样频率进行采样。由于彩色图像的60%的亮度信息来源于绿色分量,人眼对亮度信息的变化远比对彩色信息的变化敏感,而且人眼对蓝色和红色图像分辨率低。因此,对三基色采用相同的采样频率显然是不合理的,从而出现了所谓的棋盘式结构的滤色器。

典型的棋盘式滤色器是Bayer滤色器,如图2(a)所示。这种滤色器的每一行上只有两种滤色单元,或者是G、R,或者是G、B。因此,整个滤色器上G光的采样单元数目是R光或B光的两倍。这种

滤色器能很好地用在逐行扫描的方式实现逼真的彩色图像效果。但是,当将Bayer滤色器用于隔行扫描的方式时,会出现严重的黄—青闪烁现象。这是由于红色单元只出现在奇数行上,而蓝色单元仅仅出现在偶数行上。因此奇场中缺少蓝色,而偶场中缺少红色,从而会出现明显的黄青闪烁现象。为了克服在实行隔行扫描时出现的这个缺点,提出了图2(b)和(c)的改进方案。

图2(b)中的方案是将Bayer滤色器每行重复两遍而构造出来的。这样红色和蓝色交替出现在同一场每一行上,从而避免了隔行扫描的黄—青闪烁现象。但是,在这种排列方式中,奇数列像元只有绿色和蓝色,而偶数列像元只有绿色和红色,在黑白图像的垂直边缘会产生可见的彩色条纹。为了克服上述问题,可以采用图2(c)中的方案,这种滤波器结构被称为GCFS滤波器。这种方案与图2(b)中的相似,保留了绿色方格的性质,只出现红色和蓝色水平采样的位置在奇场和偶场之间交换。这样,图像的每一列中都有红色、绿色和蓝色采样,改善了红色和蓝色的水平分辨率。但是,却没有改善垂直方向的分辨率。

为了实现隔行扫描的传输方式以及提高垂直方向分辨率,我们采用图2(d)的滤色器方案。这种滤色器将奇场和偶场的滤色器的R、G、B水平位置都进行了交换,而且还可以这种滤色器方案水平和垂直方向的R、G、B采样点的排列是相似的,因此其水平和垂直方向的分辨率是相同的。这种方案也不会产生奇偶场的黄青闪烁。这种方案还可以大大简化颜色的插值方案,顺着对角线观察,可以发现G、B、R是有规律重复的,这使得图像的颜色插值方案变得非常简单和有规律。

| | | | |
|---|---|---|---|
| G | R | G | R |
| B | G | B | G |
| G | R | G | R |
| B | G | B | G |

| | | | |
|---|---|---|---|
| G | R | G | R |
| G | R | G | R |
| B | G | B | G |
| B | G | B | G |

| | | | |
|---|---|---|---|
| G | R | G | R |
| G | B | G | B |
| B | G | B | G |
| R | G | R | G |

| | | | |
|---|---|---|---|
| G | R | G | B |
| R | G | B | G |
| G | B | G | R |
| B | G | R | G |

图2 (a) Bayer (b) 改进的 Bayer (c) GCFS (d) 我们的 CFA

2 接收端彩色处理技术

由彩色CMOS图像传感器出来的数据经过控制器进行DCT变换后,通过电话线传输到电脑接收端的调制解调器中。进入电脑的数据经过IDCT

变换、色彩插值、色彩平衡后得到完整的彩色图像。这里主要介绍图像恢复时所用的色彩插值、色彩平衡恢复技术。

2.1 色彩插值

由上面的滤色器结构可以知道,对某一个像素点,其只获得了三基色中的某一个值,其余两个值要从邻近像素插值得到。根据彩色滤色器结构的特点,即顺着对角线方向的重复 G、R、G、B 的规律,如图 3(a)所示。因为人眼对图像边界不太敏感,而且图像的边界处插值不太方便。因此,为了实现简便,在实际插值过程中,可以丢弃图像的四个边界,只对边界以内的点进行插值。

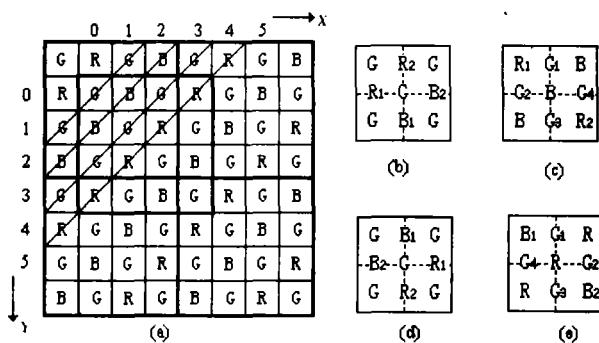


图 3 彩色插值示意图

设 (x, y) 为当前点所在的坐标位置,那么这个点的三色信息可以通过下面的方法插值得到。按照图 3(a)所示的规律,会出现下面四种情况。

(1) $(x+y)\%4=0$ 。当前点为 G 点。绿色值 G 为其自身的值。R 和 B 的值由其相邻点插值得到,如图 3(b)所示。

$$G = G$$

$$R = (R_1 + R_2)/2$$

$$B = (B_1 + B_2)/2$$

(2) $(x+y)\%4=1$ 。当前点为 B 点。蓝色值 B 为其自身的值。R 和 G 的值由其相邻点插值得到,如图 3(c)所示。

$$B = B$$

$$G = (G_1 + G_2 + G_3 + G_4)/4$$

$$R = (R_1 + R_2)/2$$

(3) $(x+y)\%4=2$ 。当前点为 G 点。绿色值 G 为其自身的值。R 和 B 的值由其相邻点插值得到,如图 3(d)所示。其情况与(1)相似,只是 B 和 R 位置不同而已。

$$G = G$$

$$R = (R_1 + R_2)/2$$

$$B = (B_1 + B_2)/2$$

(4) $(x+y)\%4=3$ 。当前点为 R 点。红色值 R 为其自身的值。G 和 B 的值由其相邻点插值得到,如图 3(e)所示。

$$R = R$$

$$G = (G_1 + G_2 + G_3 + G_4)/4$$

$$B = (B_1 + B_2)/2$$

上述求 $(x+y)\%4$ 的过程,在实现中也只需两个 0~3 的 2 位计数器分别沿着行和列计数即可。确定了滤色器结构,并构造了插值方案以后,就可以获得一幅图像的彩色信息。但是为了获得色彩逼真的彩色图像还需要对彩色信息进行处理,其中主要的就是色彩平衡问题。

2.2 色彩平衡技术

为了获得色彩逼真的彩色图像,对任一色光,摄像机输出的 R、G、B 三基色信号的比例关系必须能够准确地反映着这一色光的 R、G、B 三基色分量的比例关系,这种关系色的保持称为色彩平衡。本文采用了一种三原色动态平衡技术。

这种方法并不对图像传感器的输出电平作调整,而是采用一种后处理的方法,用数字图像处理技术使原来不平衡的彩色图像恢复平衡。由于它采用数字图像处理技术,因此既可以做成硬件放在摄像机的输出端之前,把摄取的图像进行色彩平衡后再输出。也可以用软件在计算机中实现,对摄取的图像处理以后再显示。

其基本技术为,从图像中提取三原色 R、G、B 信息,用以下的方法判断色彩是否平衡。

首先从图像中找出 G 信号的峰值 G_{pw} ,并在此 G_{pw} 处找出 R 和 B 的峰值 R_{pg} 和 B_{pg} 。然后再从整幅图像中找出 R 和 B 信号的峰值 R_{pw} 和 B_{pw} ,共五个峰值,然后作以下判断。

先将 R_{pg} 、 B_{pg} 与 G_{pw} 作比较。如果 $R_{pg} = G_{pw}$,并且 $B_{pg} = G_{pw}$,那么认为色彩是平衡的(白色平衡)。否则,色彩是否平衡还要做下面的比较:比较 R_{pw} 、 B_{pw} 和 G_{pw} ,如果 $R_{pw} \geq G_{pw}$,并且 $B_{pw} \geq G_{pw}$,则认为色彩是平衡的,否则认为色彩不平衡。若认为色彩不平衡,则要调整相应的 R 或 B 的放大倍数,然后重复上述判断过程,直到认为色彩平衡为止。

实践证实这种技术是一种简单而有效的色彩平衡技术,因此本文的色彩平衡技术采用了这种方法,把这种方法用软件在计算机接收端中实现。

(下转第 79 页)

节前放的通带范围和放大倍数, NPE 已降得很低, 但仍没到零点。此时外界噪声干扰已经很大, 光谱曲线变得很不精细, 对研究带尾态等重要性质不利。在加上滤光片以后(图 6), 此时探测器工作于线性区, 光谱没有发生畸变, 细微的特性都能显出来, 而且 NPE 降到了零。

5 结论

对于短波和中波器件测试中, 如果出现上述光谱畸变的情况, 也可以采用同样的方法处理。在透射或反射光谱的测量中, 同样可能会有类似的情形, 处理方法更为简单一些。只要对比不同光强(加不同的金属网)下的背底光谱曲线, 如果是强光下曲线和弱光下曲线形状有很大变化, 则可以肯定探测器饱和了。找到探测器不饱和时的最强光强, 测试样品时将得到信噪比最高的光谱曲线, 而又不会产生畸变。

采用针对不同光谱仪, 改进其前置放大系统和

在光路中插入特定波段滤光片的方法, 能够显著提高光谱(尤其是响应光谱)的测试准确度, 为半导体能带、物质成分等提供有效的实验依据。对透射及反射光谱测量也有一定的指导作用。

参考文献:

- [1] DIGILAB. Excalibur series user manual[K].
- [2] 汤定元, 糜正瑜. 光电器件概论[M]. 上海: 上海科技文献出版社, 1989.
- [3] Judson Technologies [EB/OL]. www.judsontechnologies.com.
- [4] Griffiths P R. Fourier Transform Infrared Spectroscopy [M]. John Wiley, 1986.
- [5] Pedr H, Erich k. Dynamic range problems in FTIR and Far-IR spectroscopy[J]. Applied Spectroscopy, volume 41, Number 8, 1987. 1987, 41(8).
- [6] 钱小兵. 傅立叶变换光谱技术研究[D]. 上海: 中科院上海技术物理所, 2001.

(上接第 75 页)

3 实验结果

CMOS 图像传感器芯片进行了流片, 采用的 $0.6\ \mu\text{m}$ 标准的 CMOS 工艺, 然后在硅片上按照图 2(d)彩色像素排列制作了彩色膜。用此彩色 CMOS

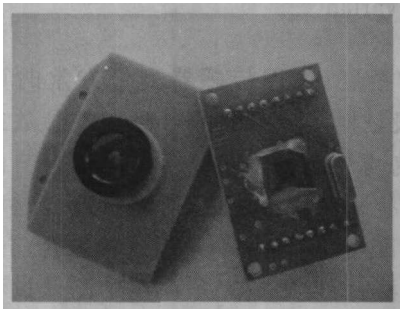


图 4 彩色 CMOS 图像传感器芯片

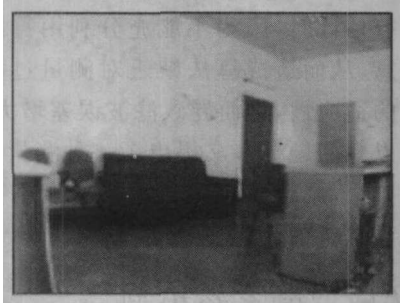


图 5 还原的彩色图像

图像传感器芯片制作了摄像器件, 如图 4 所示。

按照上述介绍的彩色插值、色彩平衡技术编制了接收软件, 得到完整的彩色图像如图 5 所示。图像较真实地还原了原场景的色彩, 说明了彩色 CMOS 图像传感器芯片的设计和彩色像素排列是成功的, 接收软件和相关算法也是成功的。

参考文献:

- [1] Lu M, Denyer P B. Color Balance [M]. British Application No: 9 321 334. 6, 1994.
- [2] Denyer P B, Renshaw D, Wang G, et al. Solid State Image Device [M]. British Application No: PCT/GB92/01522, 1993.
- [3] Denyer P B, Renshaw D, Wang G, et al. CMOS image sensors for multimedia applications[A]. Proc. IEEE CICC 93[C]. San Diego: IEEE CICC, 1993.
- [4] Lu M, Wang G, Renshaw D, et al. On-chip automatic exposure control technique [A]. Proc. ESSCIRC 91 [C]. Milan: ESSCIRC, 1991. 281-284.
- [5] Wang G, Denyer P B, Renshaw D, et al. CMOS video cameras[A]. Proc. EURO ASIC 91[C]. Paris: EURO ASIC, 1991. 100-103.