

文章编号: 1007-2780(2012)04-0569-04

多通道输出面阵 CCD 图像非均匀性校正

曲洪丰, 王晓东, 吕宝林

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033, E-mail: oefeng@126.com)

摘 要: 针对多通道面阵 CCD 输出非均匀性问题, 开展了多通道输出面阵 CCD 图像非均匀性校正算法研究。论述了多通道面阵 CCD 输出非均匀性产生的原因, 并对此提出了基于非线性响应的多段线性逼近校正算法, 通过 FPGA 进行了算法实现。基于线性响应的两点校正算法精度低, 且不能满足全量程的要求; 基于非线性响应的多点校正算法精度高, 但运算量大, 不易于在 FPGA 上实现。文中提出的基于非线性响应的多段线性逼近校正算法, 综合了以上两种算法的优点, 具有运算量小、实用性强、精度高的优点。

关 键 词: 多通道输出; 线性响应; 非线性响应; 多段线性逼近

中图分类号: V447.3; TN386.5

文献标识码: A

DOI: 10.3788/YJYXS20122704.0569

Non-Uniformity Correction of Multiple Output Area CCD Image

QU Hong-feng, WANG Xiao-dong, LV Bao-lin

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,
Changchun 130033, China, E-mail: oefeng@126.com)

Abstract: The correction algorithm is researched to solve non-uniformity of multiple channels output of area-scan CCD image. Various factors are analyzed contributing to the non-linear behavior of multiple output CCD. The method of multi-section linear approaching correction is proposed. The algorithm principle and its simple realization method are introduced in details. The correction algorithm is realized based on FPGA. Multi-section linear approaching correction algorithm has higher precision than two-point correction algorithm. It also has lower operation load than multi-point correction algorithm. This method satisfies the camera nonuniformity correction requirements, has very strong practicality.

Key words: multi-output; linear response; non-linear response; multi-section linear approaching

1 引 言

为提高 CCD 相机的输出帧频, CCD 器件厂商把 CCD 视频输出设计为多个通道并行输出的方式, 例如面阵 CCD 一般为 2 通道或 4 通道并行输出。由于 CCD 芯片在半导体加工过程中平板印刷、掺杂等工艺的微小差异, 均导致 CCD 器件不同通道在相同光照条件下响应输出存在微小差

异^[1]; 同时, CCD 不同通道输出外围电路器件, 各项参数不可能完全一致, 也导致同样光照条件下 CCD 不同通道输出数字量化数据的不一致性。这些均导致各路输出图像间存在非均匀性, 具体表现为不同通道输出图像在拼接成一幅完整的图像后, 在某些细节不丰富的景物背景下能明显地观察出图像是由几块小图拼接而成的^[2]。拼接后图像的非均匀性使成像系统的性能显著下降, 严

收稿日期: 2012-02-14; 修订日期: 2012-05-17

基金项目: 国家自然科学基金(No. 60507003)

作者简介: 曲洪丰(1980-), 男, 黑龙江海伦人, 硕士, 助理研究员, 研究方向为光电仪器设计及应用。

重影响着相机的成像质量,以至使其难以满足成像系统使用要求,有必要进行非均匀性校正^[3]。

图 1 是双通道输出 CCD 图像的一个例子,由图 1 可见,在图像的细节比较丰富的区域通道间的差异不明显,而在图像细节较少区域,即图中蓝天白云区域,图像双通道间存在明显的拼接缝^[1]。本文基于 KODAK 公司生产的型号为 KAI-1020 的 CCD 搭建一套系统,此 CCD 为双通道输出形式,像元响应非均匀性为 5%,对成像质量影响不大,所以本文不做像元级的非均匀性校正,只做不同通道间的非均匀性校正。



图 1 双通道输出面阵 CCD 图像
Fig. 1 Double output area CCD image

2 不同通道输出非均匀性产生原因

2.1 CCD 器件

不同通道信号电荷分别通过不同的模拟移位寄存器和不同的输出放大器输出,由于半导体加工工艺不能保证各个模拟移位寄存器和各个输出放大器参数完全一致^[4],必然造成 CCD 不同通道输出的信号非均匀性;

2.2 CCD 器件外围电路

CCD 的各通道模拟输出,分别经过各自的运放电路、视频 AD 电路,在实际设计中,虽然不同通道采用了相同的器件和相同的电路,但元器件参数不可能完全一致,同时不同通道信号传输路径也存在差异,使得不同通道的外围电路所有特性参数完全一致在实际中无法实现,这就导致了 CCD 各通道输出 AD 量化后的数据必然存在差异,从而产生不同通道输出的非均匀性。

3 校正算法模型

校正算法主要有基于探测器线性响应和探测器非线性响应两种模型:

(1) 基于探测器线性响应模型如式(1)所示:

$$D(\varphi) = V + G \times \varphi \quad (1)$$

其中 φ 为输入光照度, D 为最后数字量化输出值, V 为包括 CCD 和外围处理电路整个系统的偏置值, G 为整个电路增益。

基于本模型的校正算法主要有两种:

(a) 一点校正法

一点校正法是最早的非均匀性校正算法,针对增益系数不均匀和偏置不均匀两种情况,因此,一点校正法也可分为增益系数不均匀校正和偏置不均匀的校正。

(b) 二点校正法

一点校正法对于增益不均匀性和偏置不均匀性二者是不能兼顾的,由此产生了二点校正法^[3]。两点校正法考虑了探测器的增益不均匀性、偏置不均匀性、热噪音、暗电平等因素,但是,两点校正法仍然是一种线性校正算法^[5]。

(2) 基于探测器非线性响应模型如式(2)所示:

$$D(\varphi) = V + \sum_{i=1}^{i=m} G_i \times \varphi^i \quad (2)$$

采用多项式拟合的方式来表征探测器输出响应的非线性。由于 CCD 数字量化后的灰度值与输入光照度之间,并不是严格的线性响应,尤其是在光强较暗和 CCD 接近饱和区的范围,非线性更为明显。因此,这种算法模型更为合理。

基于此模型的是多点校正法,多点校正法比二点校正法更进一步,它考虑了探测器响应度的非线性。该种算法特点是准确度高,缺点是计算量很大,实时性差^[5]。

4 多段线性逼近校正算法

通过以上分析可知,一点校正法基本没有实用价值。结合工程实际,笔者首先试验了基于线性响应的两点校正法,结果表明,校正效果与选择的校正灰度值点有关,只在特定的灰度值点附近,校正效果较好,但离这些点越远,校正效果越差,尤其是亮度较暗或 CCD 接近饱和区域,不能满足全量程校正要求。

多点校正算法是多项式插值算法,虽然精度高,但运算量大,在工程应用时,会存在一些问题,比如很难做到实时,消耗的资源也多。为此,本文提出了多段线性逼近校正算法,利用 FPGA 进行实现,并在基于 KAI-1020 的 CCD 相机上进

行验证,取得了较好的校正效果。

多段线性逼近算法如式(3)所示,就是将光照度从 0 到 CCD 饱和的光照度分成 m 个区间,在每个区间内采用两点校正算法, m 值越大,则线性逼近精度效果越好,精度越高,校正效果越好,工程应用中,可根据精度要求,硬件和软件资源情况进行选择。

$$\begin{cases} D(\varphi) = V_1 + G_1 \times Y & Y_0 \leq Y \leq Y_1 \\ \vdots \\ F(\varphi) = V_n + G_n \times Y & Y_{n-1} \leq Y \leq Y_n \\ \vdots \\ D(\varphi) = V_m + G_m \times Y & Y_{m-1} \leq Y \leq Y_m \end{cases} \quad (3)$$

工程应用中,利用积分球发出的均匀光照射 CCD 相机,将积分球亮度分成 m 个光照度等级,分别采集光照度为 $0, \varphi_1, \varphi_2, \varphi, \dots, \varphi_n, \dots, \varphi_m$ 时 CCD 相机输出灰度值,将 KAI-1020 两个通道 A 和 B 分别作为一个整体进行校正,即在每个照度等级上,分别记录通道 A 和 B 的图像数据的平均值。

由于在每个照度等级下,最后均转化为 CCD 输出数字量化后的灰度值,所以,在工程应用中,无需知道每个照度等级下积分球输出光照度的精确值,只需控制好积分球输出照度的相对等级即可。又由于在每个照度区间内,采用的是线性的两点校正算法,两个通道做的均是线性校正,两个通道间存在线性关系,所以,在算法实现上,为简化运算,可以采取保持通道 A 或 B 的数值不变,只对另一路进行校正。如采取保持 A 通道数据不变,设其灰度值输出为 X ,B 通道灰度值输出为 Y 。则对应每个 $\varphi_{n-1} \leq \varphi \leq \varphi_n$ 光照度区间,只需解如下两个方程即可。

$$\begin{cases} X_{n-1} = V_n + G_n \times Y_{n-1} \\ X_n = V_n + G_n \times Y_n \end{cases} \quad (4)$$

对应 $0, \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n, \dots, \varphi_m$ 各个光照度区间,解 m 组如式(4)方程组,可得 m 组偏置和增益校正系数。设 B 通道校正后的值为 Z ,校正算法变为如式(5)所示,此时,通道 A 的值保持不变,通道 B 每个像元首先判断灰度值区间,灰度值落在哪个区间,就用哪个区间的偏置和增益校正系数。

$$\begin{cases} Z = V_1 + G_1 \times Y & Y_0 \leq Y \leq Y_1 \\ \vdots \\ Z = V_n + G_n \times Y & Y_{n-1} \leq Y \leq Y_n \\ \vdots \\ Z = V_m + G_m \times Y & Y_{m-1} \leq Y \leq Y_m \end{cases} \quad (5)$$

由以上校正算法实现过程可知,前期标定多组增益和偏置校正系数时,比较费时。在批量生产时,为减少标定时间,可采用自动化实现,即研制一套标定系统,上位机设定亮度等级数 m ,并通过控制器自动调整积分球亮度,上位机采集图像数据,最后根据上述算法得到各区间的校正系数,并存成 FPGA 开发软件可调用格式的文本文件,FPGA 开发软件编译时直接调用此文件,生成各个相机带标定系数的烧录文件。区间数 m 的取值,即取多少组增益和偏置校正系数,可根据精度要求来选择, m 值越大,校正精度越高。实践中发现,对于 AD 为 10 位量化系统来说, m 值取 25 组以上,在整个灰度值区间内,就已经看不出图 1 所示的通道间拼接缝了。

5 校正算法的 FPGA 实现

根据以上算法,通过定标实验得到不同照度等级下校正系数 V_n 和 G_n 。由于 FPGA 只能进行二进制的数学运算,因此需要将校正系数转化为二进制数^[6]。将转化后的校正系数数据存储在 FPGA 的内部存储空间里。

图像数据校正流程如图 2 所示,输入是校正前的数据,首先进行灰度值区间判定,根据灰度值所处区间来选择读取校正系数 G_n 和 V_n ,然后对

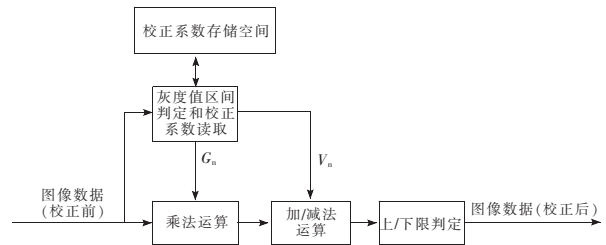


图 2 图像数据校正流程

Fig. 2 Correction process of image data



图 3 校正前图像

Fig. 3 Image before non-uniformity correction



图 4 校正后图像

Fig. 4 Image after non-uniformity correction

输入的图像数据分别进行乘法和加减法运算,最后输出校正后的数据进行上下限判定,如果数据为不大于 1 023 的正数,则输出运算结果;如果数据大于 1 023,则输出 1 023;如果数据小于 0,则输出 0。校正前后图像如图 3 和 4 所示。

由图 3 和图 4 可知,图 3 中能明显看到拼接缝,而图 4 中已经看不到拼接缝了。

为更准确地评估算法的有效性和准确度,我们利用均匀光入射条件下进行成像试验,得到不同照度等级下的图像数据,按照式(6)进行分析计

算,得到 CCD 两通道间的一致性指标。 P 值越小,代表图像均匀性越好,校正效果越理想。我们将各种光照条件下得到的 P 的最大值 P_{\max} 作为我们的评价结果。

$$P = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N-1} (D_i - \bar{D})^2}{N-1}} \times 100\% \quad (6)$$

\bar{D} 为整幅图像的均值, D_i 为第 i 个通道图像的均值,本相机系统中 $N=2$ 。最后得 $P_{\max} = 0.83\%$,远小于 KAI-1020 手册中 CCD 像元响应非均匀性最大值 5%,校正后的图像消除了多通道输出造成的非均匀性影响,满足相机系统要求。

6 结 论

以校正多通道面阵 CCD 输出非均匀性为目的,分析了通道非均匀性产生的原因。针对传统的两点校正和多点校正算法的优缺点,提出了满足工程实践的多段线性逼近校正算法,此算法具有运算量小、实用性强、精度高的优点。并在 FPGA 上进行了算法实现,算法精度达 0.83%,满足相机系统的非均匀性校正要求。

参 考 文 献:

- [1] Eastman Kodak Company. Multiple Output Sensors Seams Correction[R]. New York, 2009: 3-6.
- [2] 陈庆辉,曹剑中,唐垚. CCD 双路输出图像不均匀性问题的研究[J]. 光学与光电技术, 2009, 7(3): 89-92.
- [3] 徐文文,周建勇,唐遵烈,等. TDI-CCD 多抽头图像合成及非均匀性校正[J]. 半导体光电, 2009, 30(1): 153-155.
- [4] 居戡之,韦晓茹,朱亚一,等. CCD 像元光电转换率不一致性补偿技术 [J]. 传感器世界, 2007, (10): 18-21.
- [5] 薛利军,李自田,李长乐,等. 光谱成像仪 CCD 焦平面组件非均匀性校正技术研究[J]. 光子学报, 2006, 35(5): 693-696.
- [6] 李丙玉,王晓东,李哲. 在轨完成 CCD 非均匀性校正的方法[J]. 液晶与显示, 2011, 26(2): 255-259.