

文章编号 1004-924X(2016)10-2532-08

工业线阵 CCD 相机系统测试与噪声评估

张 晨¹, 孙世磊^{2*}, 石文轩³, 王 峰⁴, 邓德祥¹

(1. 武汉大学 电子信息学院, 湖北 武汉 430072;

2. 武汉大学 国际软件学院, 湖北 武汉 430072;

3. 武汉大学 遥感信息工程学院, 湖北 武汉 430072;

4. 武汉大学 计算机学院, 湖北 武汉 430072)

摘要:为了快速评价工业线阵 CCD 相机质量, 本文选择信噪比为评价因子, 建立了测试系统, 研究了基于相机输出图像测试相机噪声的方法。分析了线阵 CCD 相机的噪声, 建立了一个基于固定模式和随机噪声的信噪比计算模型, 并分析了相关双采样(CDS)过程对电源噪声的影响。设计了一套适于工业场所的相机快速信噪比测试系统, 结合理论分析数据和实际测试图像数据, 提出了仅通过输出的 8 bit 图片计算各噪声参数的方案。最后, 对测试系统引入的光源不均匀性噪声进行了讨论, 并证明该实验平台光源符合工业标准 EVM1288 要求。实验结果表明: 当相机模数(AD)转化设置为 8.7 dB 时, 输出信噪比可达 44 dB; 若排除光源干扰, 输出信噪比可达 46 dB。该方案简便快捷, 满足工业现场对相机信噪比评估的要求。

关键词: CCD 相机; CCD 成像系统; 信噪比; 相关双采样; 噪声评估;

中图分类号: TB853. 29 **文献标识码:** A **doi:** 10. 3788/OPE. 20162410. 2532

Linear CCD camera System for industry measurement and its noise evaluation

ZHANG Chen¹, SUN Shi-lei^{2*}, SHI Wen-xuan³, WANG Feng⁴, DENG De-xiang¹

(1. School of Electronic Information, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. International School of Software, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

3. School of Remote Sensing and Information Engineering,

Wuhan University, Wuhan 430072, China;

4. Computer School, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

* Corresponding author, E-mail: sunsl@whu.edu.cn

Abstract: To evaluate the imaging quality of a CCD camera rapidly, the Signal to Noise Ratio(SNR) was selected as the evaluation factors, a measurement system was constructed and methods to measure the camera's noise based on the output images of the camera were researched. The noise from the linear CCD camera was analyzed, a model for computing the SNR was established based on the fix pattern noise sources and temporal noise sources and the impact of Correlated Double Sample(CDS)processing

收稿日期: 2016-04-18; 修订日期: 2016-06-18.

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金资助项目(No. 61501334)

on the power supply noise source was analyzed. A rapid measurement system for the SNR of camera in industry applications was designed, and a scheme to measure various noise sources was proposed by analyzing the theoretical model, practical tested data and 8 bit output images. Finally, the non-uniformity of the light source in the measurement system was discussed and it demonstrates that the light source meets the requirements of EVM1288 industry-standard. Experiment results indicate that the SNR of the camera reaches to 44 dB when the AD gain is set to be 8.7 dB, and it reaches to 46 dB if the interference of the non-uniformity from light source are eliminated. It concludes that the proposed scheme has higher measuring speeds, and satisfies the system requirements of SNR measurement for industry applications.

Key words: CCD camera; CCD imaging system; Signal to Noise Ratio(SNR); correlation double sampling; noise evaluation

1 引 言

线阵 CCD(Charge-coupled Device)相机被广泛用于工业流水线图像的自动化检测^[1-4]。其中,相机的信噪比(SNR)决定了其能提供的有效信息量和成像质量。目前对于测试系统^[5-6]及传感器噪声的理论讨论较多,尤其是对于面阵相机^[7-11],但是在实际测试使用中,只能基于测试平台输出图片进行评价,而成像系统不仅仅包括相机,还包括测试平台的影响,比如电源,光源的质量等。通过试验和分析,将理论,尤其是结合线阵相机本身成像特点的系统模型与实际成像输出的图片进行相互验证的工作却很少^[7,10]。

文献[8][9]对 CCD 相机的噪声源进行了定性分析,但是并未对各个噪声分量进行定量分析,文献[10]提出了基于 CMOS 面阵相机的噪声模型,并结合实际成像图片进行了验证工作,但由于 CCD 线阵与 CMOS 面阵相机存在差异,该方法并不能直接应用于线阵 CCD 相机的测量;文献[11]提出了使用 PTC(Photo Transfer Curve)分析相机噪声的方法,但该方法的应用前提是较高的 AD 测量精度(12bit 以上等),而常见的工业场所采集系统的输出图像为 8 bit。因为 8 bit 图像暗部的噪声和有效数据区分并不明显,使用 PTC 法直接测量将产生很大误差。抛开相机传感器本身不谈,文献[10]和[11]对试验平台可能引入的噪声进行了讨论,其中文献[10]对测试平台的光

源进行了匹配修正,文献[11]对常见的平场校正方案也有详细讨论。但是它们对于光源的设计要求以及外部干扰对相机本身的影响都没有具体讨论。文献[12]对相关双采样 CDS 的噪声抑制能力进行了理论上的推导,通过传递函数分析得知,提出的 CDS 除了可以抑制复位噪声干扰外,还可以抑制 1/f 噪声和由电源引起的低频干扰及脉冲跳动,以及倍频干扰和表面态噪声。但是对系统中常见的噪声,以及频率与相关双采样的影响并没有讨论。

针对上述问题,本文首先推导出适用于 CCD 相机的噪声模型,并考虑了表征光源不均匀性和电源纹波等的参量,并对 CDS 处理后的相机噪声模型进行了讨论;其次本文设计了适用于工业场所的快速测试平台,经证明其符合 EMV1288 的测试规范^[13];本文最后重点介绍了仅通过测试图片结合理论模型分析计算相应噪声分量的方法,通过图片分析试验设备中光源的影响,并通过建模排除其对测试的干扰;再根据实验结果总结噪声模型,并将各个分量分开表示。

2 噪声模型与测试平台

2.1 相机噪声类型

图像传感器相关的噪声模型在文献[7-11]中也有较详尽的介绍,本文将各噪声类型分类显示在表 1 中。

表 1 三线阵 CCD 相机系统噪声类型

Tab. 1 Noise types in triple line CCD camera

噪声类型	产生位置	噪声显示	影响原因
暗电流 i_{dark}	CCD 象元	时间和空间上随机噪声	温度与曝光时间
复位噪声 Q_{reset}	CCD 输出电路	时间和空间上随机噪声	复位用的 FET 电路热噪
读出电路噪声电荷 Q_{Readout}	CCD 输出电路	时间和空间上随机噪声	CCD 读出放大器电路的热噪(白噪声 white noise)和 1/f 闪烁噪声(flicker noise)
散粒噪声电荷 Q_{shot}	CCD 象元	时间和空间上的随机噪声	入射光的随机性造成, 光强相关
传感器固定模式噪声电荷 $Q_{\text{CCD_FPN}}$	CCD 传感器	空间上的固定模式噪声	制造工艺导致像元感光能力有差异
光源噪声电荷 Q_{light}	光源	时间上随机噪声和空间上的固定噪声	镇流器输出电压波动以及光源的不均匀性
AD 量化噪声电荷 Q_{quantum}	AD IC (AD9945)	随机噪声	与 AD 采样精度相关
电路噪声电荷 Q_{power}	电源模块/地线噪声/串扰等	随机噪声/固定模式噪声, 视噪声频率而定	电源电路纹波/通过电源耦合进入的纹波

2.2 相机信噪比模型

完整的传输电荷模型可包括光电转化过程, 相机模拟信号产生过程, CDS 过程以及 AD 转化过程, 具体见图 1。

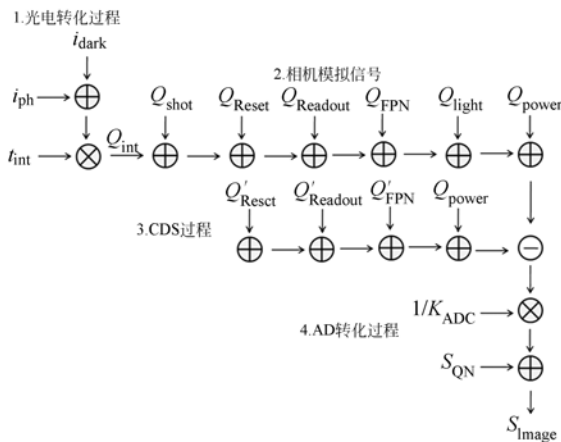


图 1 相机噪声模型

Fig. 1 Camera noise model

其中复位电荷、读出电路电荷、FPN 电荷中偏置部分在 CDS 处理后都得到了有效抑制, 而电路噪声电荷受 CDS 采样率的影响, 会得到不同的抑制效果。本文根据电路噪声电荷的频率特性, 对相机使用中常见的电路电荷来源进行分类, 如表 2 所示。

表 2 CDS 处理后电路噪声

Tab. 2 Circuit noise after CDS processing

噪声总类	产生原因	CDS 处理能力
电源噪声	开关电源纹波	无法消除
数字开关噪声	高频同步开关噪声与数字芯片信号切换频率相关	仅与 CDS 采样频率相同的可消除
EMI 干扰	电气电力设备干扰	无法消除
光源抖动	工频/整流器纹波	无法消除

本文使用 K_{ADC} (单位为 e^-/DN) 来表示电荷到数字信号的转化率。根据误差传递公式, 将最终输出图片的噪声单位从 e^- 转化为 DN 可得:

$$\sigma_{\text{image}}^2 = \sigma_{\text{shot}}^2 + \sigma_{\text{CCD_FPN}}^2 + \sigma_{\text{light}}^2 + \sigma_{\text{Power_CDS}}^2 + \sigma_{\text{QN}}^2. \quad (2)$$

线阵相机每次曝光输出为包含 n 个像素点的线, 而实际算法处理的是 m 行线组成的一帧 $n \cdot m$ 的图像。结合式(2), 一帧内图像信噪比可由下式计算:

$$\text{SNR} = 20 \log_{10} \frac{\bar{S} - \bar{S}_{\text{dark}}}{\sqrt{\sigma_{\text{shot}}^2 + \sigma_{\text{CCD_FPN}}^2 + \sigma_{\text{light}}^2 + \sigma_{\text{Power_CDS}}^2 + \sigma_{\text{QN}}^2}}, \quad (3)$$

其中, S 为图像均值, \bar{S}_{dark} 为暗电流图像均值。可得将总噪声分为随机噪声部分和固定模式噪声部分进行分别处理。对于上式中间的噪声按照随机部分和固定模式部分进行分类, 可得:

$$\text{SNR} = 20 \log_{10} \frac{\bar{S} - \bar{S}_{\text{dark}}}{\sqrt{\sigma_{\text{Temp}}^2 + \sigma_{\text{spatial}}^2}}, \quad (4)$$

其中

$$\sigma_{\text{Temp}}^2 = \sigma_{\text{shot}}^2 + \sigma_{\text{light_temp}}^2 + \sigma_{\text{Power_CDS_temp}}^2 + \sigma_{\text{QN}}^2$$

$$\sigma_{\text{spatial}}^2 = \sigma_{\text{light_FPN}}^2 + \sigma_{\text{CCD_FPN}}^2 + \sigma_{\text{Power_CDS_FPN}}^2.$$

2.3 相机测试系统

本文中的相机使用 KLI2113 三线阵传感器, 焦面电路使用 AD9945, 数字电路使用 8bit 输出。具体测试方法如下:

(1) 测试平台由长条形铝型材和 3 个安装板组成, 3 个安装板分别用于安装相机、扩散膜/毛

玻璃以及散热块,其中 LED 灯排安装在散热块上,并设计为与相机 CCD 在同一水平面上。整体安装精度由铝型材平整度、数控加工的安装板与设备外壳保证。3 个主要部件的相对位置可以通过安装板下的滑块进行调节,并通过锁紧螺丝固定。

(2)使用直流电源供电的 LED 灯排照射被测测试相机,其为不带镜头的通过快速夹安装的相机。扩散膜/毛玻璃可对光照做均匀化处理,因此可近似认为相机被线性匀强光场照射,光源不均匀性测量将在 3.2.4 中讨论。本文中测试系统使用的是 3 600 k 色温 LED 灯带,其通过低纹波直流电源供电。

(3)通过采集卡设置相机常用行频参数以及 AD 增益(VGA code)。本文通过专业的相机设置软件,将相机工作行频和最大曝光时间分别设定为 5 kHz 和 100 μ s。通过调节 LED 供电电源的大小使在最大曝光时间的亮度值趋近于满值(255DN)。

(4)使用采集卡配合上位机采图软件显示并保存图片,设置 200 行图像为一帧。采集图片时,首先选用固定相机增益值,在该增益值下,以 2 μ s 为间距改变曝光时间采集图片,然后改变增益值,重复上述采集过程。

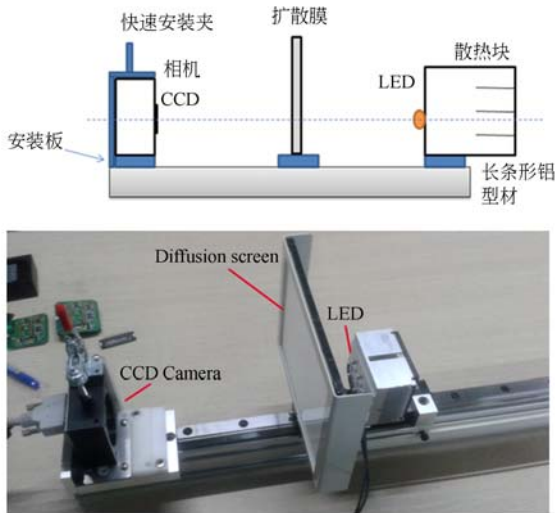


图 2 试验平台

Fig.2 Experimental setup

(5)测试设备安装于暗室中,测试时关灯以屏蔽环境光的影响。测试中环境温度为 14 $^{\circ}$ C,通过相机内置的温度传感器读出 CCD 处温度为 25 $^{\circ}$ C。

3 实验结果与分析

3.1 图像数据处理

本实验中所使用的光源具有色温较低,颜色偏黄,蓝绿通道数值动态范围较小等特点。以该 CCD 三通道芯片中红通道数据为例进行分析计算。具体数据处理方法如下:

(1) 总噪声计算:

对每张图片分通道进行均方差运算得到整体噪声值 σ_{total} 。

(2) 随机噪声:

将每张图片的前 100 行数据($S_{\text{first}100}$)减去后 100 行数据($S_{\text{last}100}$)以去除固定模式噪声的影响,对相减后的图像取均方差再除以 $\sqrt{2}$,可得随机噪声值 σ_{Temp} :

$$\sigma_{\text{Temp}} = \frac{\text{std}(\bar{S}_{\text{first}100} - \bar{S}_{\text{last}100})}{\sqrt{2}}, \quad (5)$$

公式(4)随机噪声部分经整理可得:

$$\sigma_{\text{Temp}}^2 = \sigma_{\text{shot}}^2 + \sigma_{\text{light_temp}}^2 + \sigma_{\text{power_CDS_temp}}^2 + \sigma_{\text{QN}}^2 = \sigma_{\text{shot}}^2 + \sigma_{\text{read_temp}}^2 + \sigma_{\text{QN}}^2, \quad (6)$$

其中散粒噪声 σ_{shot} 是与光照相关的量,量化噪声的计算方式在文献[7-11]中都有描述。令光源随机噪声部分 $\sigma_{\text{light_temp}}$ 和电源抖动的随机部分 $\sigma_{\text{power_CDS_temp}}$ 组合为随机读出噪声 $\sigma_{\text{read_temp}}$,其值与光照无关,可通过式(6)求出。

(3) 固定模式噪声:

将整体噪声的平方减去随机噪声的平方再开根号,求出固定模式噪声值 σ_{spatial} ,此方法测试中会保留时域上固定噪声的影响。由式(4)可得固定模式噪声表示为:

$$\sigma_{\text{spatial}}^2 = \sigma_{\text{total}}^2 - \sigma_{\text{temp}}^2 = \sigma_{\text{light_FPN}}^2 + \sigma_{\text{CCD_FPN}}^2 + \sigma_{\text{power_CDS_FPN}}^2 = \sigma_{\text{FPN}}^2 + \sigma_{\text{read_spa}}^2, \quad (7)$$

其中与光照相关部分为 σ_{FPN} ,其值由光源不均匀性 $\sigma_{\text{light_FPN}}$ 和 CCD 像素点增益不均匀性 $\sigma_{\text{CCD_FPN}}$ 决定,可表示为不均匀系数 P_N 与亮度的乘积^[8]。固定模式噪声中的读出部分 $\sigma_{\text{read_spa}}$ 由电源纹波中时域上的固定模式部分 $\sigma_{\text{power_CDS_FPN}}$ 和 CCD 固定模式噪声中低噪部分共同决定,也可通过式(7)求出。

(4) 光源的影响:

对图片的每一列进行数值平均运算,可得到一个数目为 2 098 的数组 S_{column} ,使用二次曲线去

匹配,可求出空间上光源分布的不均匀性

$\sigma_{\text{light_FPN}}$ 。

3.2 基于图片的噪声测量

3.2.1 电荷到数字信号的转化率

电荷到数字信号的转化率 K_{ADC} 受 CCD 电子到电压转化率 A_{CCD} , 射随电路放大率 A_{SF} 以及相机增益 A_{AD} 的影响。本文在保持行频不变的情况下使用 5 组不同的相机增益参数(表 3)采集图片。根据传感器芯片文档中的说明, CCD 像素的电子总数为 170k, 最大输出为 2 V, 通过对电路中射随电路的分析可得其电压转化值 A_{SF} 为 0.96 V/V, AD9945 的 ADC 最大输入电压为 2 V, 工作时取高八位输出。则对应的 K_{ADC} 值可写作:

$$K_{\text{ADC}} = \frac{170\text{k}[e^-] \times 1[\text{V}] / 0.96[\text{V/V}] / A_{\text{AD}}[\text{V/V}]}{2^8[\text{DN}] - 1}, \quad (8)$$

其中 A_{AD} 为 AD 的实际增益值, 单位为 V/V 可由实际增益设置值求出。

3.2.2 随机噪声测量

根据公式(6)可知, 随机噪声分量由散粒噪声、量化噪声以及随机读出噪声组成。散粒噪声可由对应图片的光电子数目均值的平方根计算得到^[11], 其单位为 e^- , 在将其转化为以 DN 为单位的值时, 需要考虑实际 K_{ADC} 值与理论计算值间的偏差。本文引入偏差修正值 k , 代入修正值后, 以 DN 值为单位的散粒噪声可由下式表示:

$$\sigma_{\text{shot}}[\text{DN}] = \sqrt{\frac{S}{k \cdot K_{\text{ADC}}}}[\text{DN}], \quad (9)$$

量化噪声 σ_{QN} 在亮度均值大于量化噪声值时可取为 $0.2887\text{DN}^{[10]}$, 该值在图片亮度值较低时有较大误差^[11], 对此本文采用不同 AD 增益值所对应的图片进行曲线匹配, 以修正误差。

将以 DN 为单位的散粒和固定值的量化噪声表达式代入式(9), 可得式(10)。本文使用 Matlab curve fitting 工具箱进行匹配, 并将理论计算值作为初值代入匹配。

$$\sigma_{\text{temp}} = \sqrt{S / (k \cdot K_{\text{ADC}}) + \sigma_{\text{read_temp}}^2 + 0.2887^2}, \quad (10)$$

其中 S 表示图片平均亮度。匹配结果如图 3 所示。图中线段为匹配值, 点为测试数据, 具体参数如表 3 所示。

将增益偏差 k 取平均值, 并消除误差可得 $k = 0.9093$, 将修正后的 K_{ADC} 值和上一步求出的

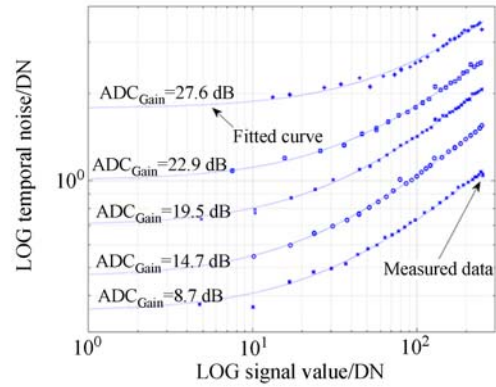


图 3 随机噪声实测与匹配结果

Fig. 3 Measured and fitted results of temporal noise

以 DN 为单位的随机读出噪声值进行曲线匹配(图 4),

$$\sigma_{\text{read}}[\text{DN}] = \sigma_{\text{read}}[e^-] / (k \cdot K_{\text{ADC}}), \quad (11)$$

求出读出噪声值为 $45.07e^-$ 。

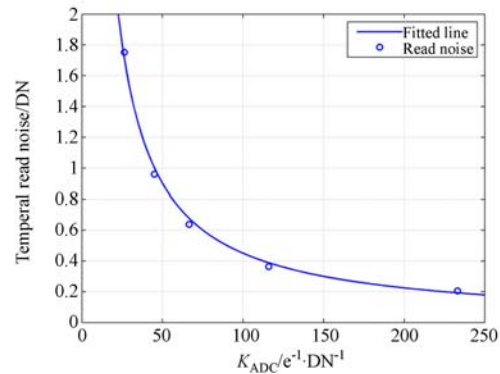


图 4 随机读出噪声实测与匹配结果

Fig. 4 Measured and fitted results of temporal read noise

3.2.3 固定模式噪声测量

将计算所得随机噪声与总噪声代入式(7)可

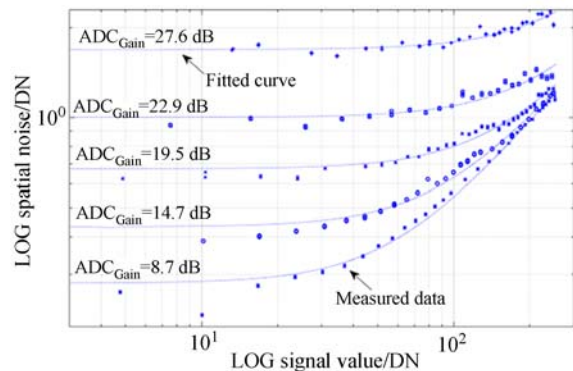


图 5 固定模式噪声实测与匹配结果

Fig. 5 Measured and fitted results of fixed-mode spatial noise

得固定模式噪声实测值。引入不均匀参数 P_N 后,FPN 噪声可表示为平均亮度与不均匀参数的乘积^[11]。将 FPN 噪声与固定模式读出噪声作为位置值,代入公式(7)进行匹配,匹配公式如下所示。

$$\sigma_{\text{spatial}} = \sqrt{\sigma_{\text{total}}^2 - \sigma_{\text{temp}}^2} = \sqrt{\sigma_{\text{FPN}}^2 + \sigma_{\text{read_spa}}^2} = \sqrt{(P_N S)^2 + \sigma_{\text{read_spa}}^2} \quad (12)$$

将上式的计算结果与实际测试数据进行曲线匹配,可得固定模式噪声值,匹配结果如图 5 所示。

表 3 不同增益下测试计算所得的噪声参数

Tab. 3 Measured and calculated noise parameters under different gain settings

Gain/ dB	K_{ADC}	k	$\sigma_{\text{read_temp}}/DN$	$P_N/(\%)$	$\sigma_{\text{read_spa}}/DN$
8.7	256.4	0.947 9	0.21	0.466 1	0.28
14.7	127.5	0.900 3	0.36	0.458 8	0.43
19.5	73.2	0.887 3	0.64	0.431 9	0.67
22.9	49.5	0.878 2	0.96	0.442 7	1
27.6	29	0.932 7	1.75	0.591 4	1.69

与随机读出噪声类似,固定暗电平读出噪声也与光照无关。故其可以使用同样的曲线匹配方法消除测量误差。 P_N 取值与图 5 中以斜率为 1 的曲线部分有关,在 AD 增益较大的情况下,测试结果大部分是斜率为 0 的底噪,匹配时会对 P_N 取值引入较大误差,所以求 P_N 值时应舍弃 27.6 dB 时的数据,最后平均值为 0.449 9%。匹配结果显示固定模式的读出噪声值为 $45.01e^{-}$ 。

3.2.4 光源不均匀性引入的噪声分析

本文采取对最亮的图片进行曲线匹配,以提高光源不均匀性所占的比例,从而减少因传感器本身增益偏置不均匀性带来的误差。试验数据增益值为 8.7dB 的图片中红通道最亮图片的均值为 252.4 DN,对此图片构造如下二次曲线^[10]匹配函数:

$$S_{\text{column}} = a \cdot 252.4 - (b \cdot (N_{\text{pixel}} - N_0))^2, \quad (13)$$

$$\text{SNR} = 20 \log_{10} \frac{\bar{S}}{\sqrt{S/(k \cdot K_{\text{ADC}}) + \sigma_{\text{read_kemp}}^2 + 0.2887^2 + (P_N S)^2 + \sigma_{\text{read_spa}}^2}} = 20 \log_{10} \frac{\bar{S}}{\sqrt{\frac{\bar{S}}{0.9093 K_{\text{ADC}}} + \left(\frac{45.07}{0.9093 K_{\text{ADC}}}\right)^2 + 0.2887^2 + (0.004499 S)^2 + \left(\frac{45.01}{0.9093 K_{\text{ADC}}}\right)^2}} \quad (15)$$

其中 a 为最亮点亮度修正量, b 用于调节曲线开闭幅度, N_{pixel} 为空间像元的位置, N_0 用于调节最亮点的空间位置,将上式与所选图片中红通道数据进行曲线匹配,匹配结果如图 6 所示。

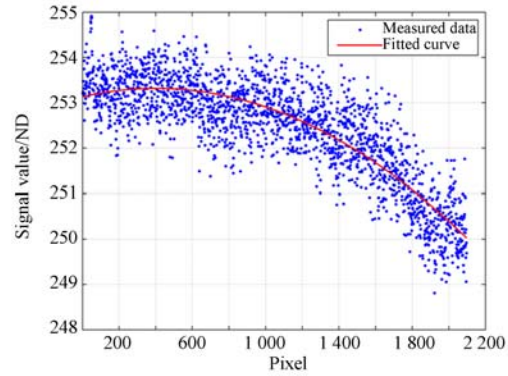


图 6 光源不均匀性噪声测试值与光强分布函数的曲线匹配结果

Fig. 6 Curve fitting results between measured light source FPN noise and intensity distribution function

匹配结果为 $a=1.003$, $b=0.00107$, $N_0=401.7$ 。文献[13]的研究结果证实以测试线性度为前提,光源光照不均匀度需小于 3%,在图 6 中取最高亮度与最低亮度值进行计算可得:

$$\Delta E[\%] = \frac{S_{\text{max}} - S_{\text{min}}}{S} \cdot 100 = \frac{254.9 - 248.8}{252.4} \cdot 100 = 2.4\% \quad (14)$$

此结果说明试验用光源符合文献[13]中的规范要求,适合工业用途测试。匹配后的式(13)取方差 $\sigma_{\text{light_FPN}}=0.9591[\text{DN}]$,则相应可求得增益不均匀性为:

$$\sigma_{\text{gain_FPN}} = \sqrt{\sigma_{\text{FPN}}^2 - \sigma_{\text{light_FPN}}^2} = 0.24\% \cdot S.$$

3.3 相机的信噪比模型

将上述各噪声值代入式(3),因为测试时温度较低并且曝光时间较短,测试时的暗电流影响可忽略,得到下式:

图 7 给出了将 8.7 dB 下红通道噪声测试值与模型计算值,按照各个分量的依次叠放进行比较说明。

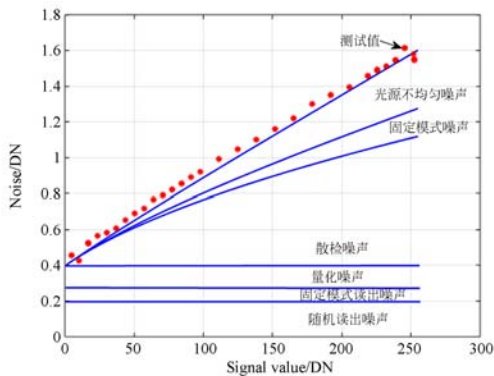


图 7 增益 8.7 dB 时的总噪声测试值,噪声模型计算值与各噪声类型计算值的比较

Fig. 7 Comparison of total noise test value, calculation value of noise model, calculated values of different kinds of noise types with gain of 8.7 dB

通过测量计算可得,包含光源不均匀性噪声的影响在内,当 AD 值设置为 8.7 dB 时,红通道最高信噪比为 44 dB,而排除掉测试平台光源不均匀性干扰后,红通道最高信噪比为 46 dB。

参考文献:

- [1] 刘栋铖. 工业检测中的线阵 CCD 相机系统设计与研究[D]. 南京:南京理工大学, 2013.
LIU D B. *The design and research on linear CCD camera system for industry detection* [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2013. (in Chinese)
- [2] 何薇. 布匹瑕疵实时视觉检测技术的研究与开发[D]. 无锡:江南大学, 2015.
HE W. *The research on real-time detection of fabric defects* [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2015. (in Chinese)
- [3] ZHU Q M, WANG L Q, YUAN B. Cooling CCD camera based on embedded system [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2014, 43(11): 3608-3614. (in Chinese)
- [4] 李方宁, 王延杰, 张涛, 等. 基于 AM41V4 传感器

4 结 论

本文通过分析三线阵 CCD 相机的噪声源,建立一个信噪比计算模型,并且对实际工业现场可能引入的干扰,进行了分类讨论。

为了验证模型的实用性,需测量 SNR 以评价相机性能,本文建立了一套简便的工业线阵 CCD 相机测试系统。在对试验数据的处理中,本文对已知的可计算的噪声源进行了理论计算,并依靠计算所得的数据结合图像处理,通过曲线匹配对未知噪声源进行了推导。最后单独对测试系统,尤其是测试光源引入的噪声进行了单独分析和讨论。证明测试光源不均匀度小于 3%,符合 EVM1288 要求。为了解决 8 bit 输出时,图像暗部有效数据易被噪声覆盖的问题,本文采用在多个增益下测试出来的数据,通过曲线匹配消除测量误差。

最终测试结果表明,当 AD 设置为 8.7 dB 时,红通道最高信噪比为 44 dB,而排除掉测试平台光源不均匀性干扰后,红通道最高信噪比为 46 dB。根据各噪声模块在总噪声中所占的不同比例得知,采用噪声更低的电源驱动、提升电路 EMI 设计质量以及提升相机数字输出位数,可明显提升相机输出信号的信噪比。

的高清高速 CMOS 相机系统设计[J]. 液晶与显示, 2015, 30(3):492-498.

- LI F N, WANG Y J, ZHANG T, *et al.*. Design of high-speed high-resolution CMOS camera acquisition system based on AM41V4 sensor [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2015, 30(3):492-498. (in Chinese)
- [5] 田睿, 陈春宁, 邱男, 等. 一种 CMOS 相机测量系统的设计[J]. 液晶与显示, 2014, 29(6):1139-1143.
TIAN R, CHEN CH N, QI N, *et al.*. Design of the CMOS camera measurement system [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(6):1139-1143. (in Chinese)
- [6] 李宪圣, 万志, 刘则洵, 等. 大视场空间相机 CCD 性能测试及筛选方法 [J]. 红外与激光工程, 2014, 43(7):2245-2250.
LI X SH, WAN Z, LIU Z X, *et al.*. Method of CCD test and screening for space camera with wide field of view [J]. *Infrared and Laser Engineer-*

- ing, 2014, 43(7):2245-2250. (in Chinese)
- [7] 王德江. 航空遥感应用中 TDI CCD 信噪比与电荷转移相移研究 [D]. 长春:中国科学院研究生院(长春光学精密机械与物理研究所), 2013.
- WANG D J. *Research on the TDI CCD signal to noise ratio and charge transfer smear in aerial remote sensing applications* [D]. Changchun: Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, 2013. (in Chinese)
- [8] 李云飞, 司国良, 郭永飞. 科学级 CCD 相机的噪声分析及处理技术 [J]. 光学精密工程, 2005, 13(增刊):158-163.
- LI Y F, SI G L, GUO Y F. Noise analyzing and processing for scientific grade CCD camera [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2005, 13(Supp):158-163. (in Chinese)
- [9] 李飞云, 李敏杰, 司国良, 等. TDI-CCD 图像传感器的噪声分析与处理 [J]. 光学精密工程, 2007, 15(8):1196-1202.
- LI Y F, LI M J, SI G L, *et al.*. Noise analyzing and processing of TDI-CCD image sensor [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(8):1196-1202. (in Chinese)
- [10] IRIE K, MCKINNON A E, UNSWORTH K, *et al.*. A technique for evaluation of CCD video-camera noise [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2008, 18(2):280-284.
- [11] Janesick, James R. *Photon transfer: DN \rightarrow $[\lambda]$* [M]. USA, SPIE, 2007.
- [12] 黄巧林, 金伟其, 朱敏. 航天 TDICCD 相机视频信号处理中相关双采样技术的研究 [J]. 航天返回与遥感, 2002, 23(4):17-25.
- HUANG Q L, JIN W Q, ZHU M. TDICCD video data sampling technique for space remote sensing camera [J]. *Spacecraft Recovery and Remote Sensing*, 2002, 23(4):17-25. (in Chinese)
- [13] Standard 1288. Standard for Characterization of Image Sensors and Cameras. Release 3.1 [S].

作者简介:



张 晨(1983—),男,湖北武汉人,博士研究生,2006年于武汉大学获得学士学位,主要从事机器视觉,嵌入式系统等方面的研究。E-mail: chen.zhang@whu.edu.cn



孙世磊(1981—),男,河南固始人,博士研究生,副教授,2008年于武汉大学获得博士学位,主要从事机器视觉,嵌入式系统等方面的研究。E-mail: sunsl@whu.edu.cn

(版权所有 未经许可 不得转载)