

文章编号: 1672-8785(2014)08-0001-04

红外成像系统图像处理与重建过程分析

张军民¹ 李 学²

(1. 海军装备部, 北京 100071;

2. 海军航空工程学院, 山东 烟台 264001)

摘 要: 一个完整的红外成像系统包含许多个子系统, 每个子系统处理的信息不同。讨论了扫描图像的处理及重建过程, 分析了用单点校正法、两点校正方法消除固定图形噪声的特点, 讨论了将参考黑体加入扫描系统对系统的改良效果。最后系统地总结了图像处理和重建过程。

关键词: 扫描图像; 两点校正; 图像处理; 重建

中图分类号: TN97 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2014.08.001

Analysis of Image Processing and Reconstruction Process in Infrared Imaging Systems

ZHANG Jun-min¹, LI Xue²

(1. Navy Department, Beijing 100071, China;

2. Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China)

Abstract: A complete infrared imaging system contains a number of subsystems for processing different information. The processing and reconstruction process for a scanned image is discussed. The characteristics of single-point and two-point correction methods for eliminating fixed pattern noise are analyzed. The improvement effectiveness of an infrared imaging system after a reference blackbody is included in its scanning system is presented. Finally, the image processing and reconstruction process is summarized systematically.

Key words: scanning image; two-point correction; image processing; reconstruction

0 引言

探测器是红外成像系统的重要组成部分, 而红外焦平面阵列成像是目前应用得最广泛的探测技术。对现有的焦平面技术进行参数上的改进, 可以明显提高器件的工作效率, 如文献 [1] 中提出的改进型焦平面技术不仅使像素增加了 125%, 而且还使像素面积减小了 49%。理想条件下, 焦平面阵列受到均匀辐射时, 其输出幅度应一致。实际上, 由于探测器自身参数的差别,

其输出幅度存在差异, 这就是所谓的红外焦平面阵列的非均匀性 (Nonuniformity, NU)。非均匀性过甚时, 就会形成盲元 [2]。

由于非均匀性及盲元的存在, 成像质量会受到较大的影响。焦平面阵列的非均匀性存在于整个焦平面阵列上。器件规模愈大, 非均匀性就愈突出。这就会导致固定图形噪声和空间噪声的产生。偏差大的时候, 图像就无法被识别。所以要对不同的探测元进行非均匀性校正 (NUC),

收稿日期: 2014-06-25

作者简介: 张军民 (1973-), 河南上蔡人, 博士研究生, 主要从事精确制导智能化技术研究。

E-mail: 996563996@qq.com

以产生令人满意的图像。为了保证图像质量,需要利用若干离散的输入强度对各个像元输出进行归一化处理。

目前用于解决探测器非均匀性问题的方法有基于参考和基于场景的两种校正方法^[3]。单点校正法和多点校正法等属于基于参考的校正方法。人工神经网络法及其改进方法等属于基于场景的校正方法^[4]。文献[5]中提出了一种基于场景的自适应非均匀性校正方法,这种方法对实时热图像的校正具有较好的效果。尽管有关非均匀性校正的研究及技术途径多种多样,但目前实用的方法仍是两点校正法。

1 增益/电平归一化

图 1(a) 是增益/电压归一化前三个不同探测元的响应率。图 1(b) 是对应输入强度 I_1 、 I_2 和 I_3 的探测器输出^[1]。

从图 1 中可以看出,探测元的响应率曲线大体上是线性的,在这个假设的基础上才能应用线性校正法。实际中,由于探测器使用时间不会太长,使用范围很小,并且红外成像的对比度不高,可以认为探测器响应近似是线性的。

图 2 是两点校正后的归一化输出。由于不同探测元响应率曲线的曲率不同,校正后的曲线不会重合,正是探测元响应率的不同才导致了在增益/电平归一化之后存在固定图形噪声。

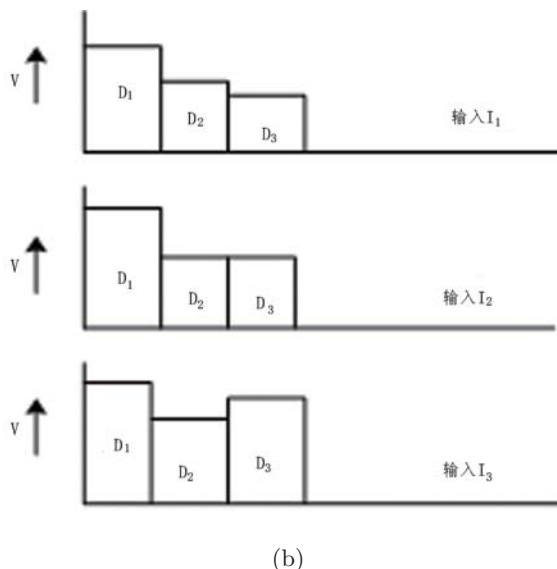
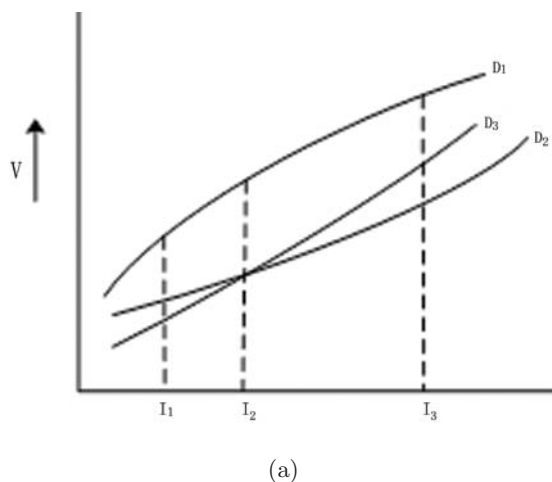


图 1 三种不同探测器 (D_1 、 D_2 、 D_3) 的响应率曲线 (响应率的变化是由于固定图形噪声引起的)

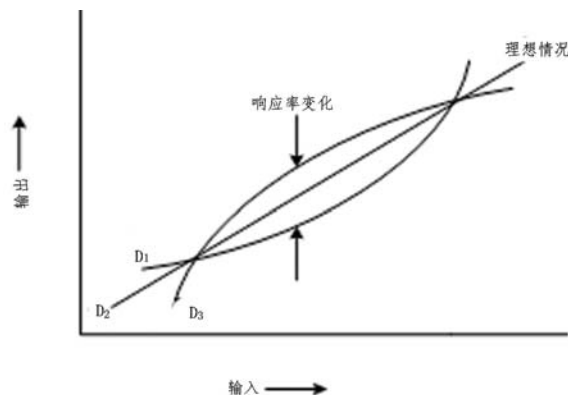


图 2 两点校正后的响应率曲线

利用单点校正时,标定点处的噪声将变为最小。如果校正是完善的,那么校正点处就不存在固定图形噪声(如图 3 所示)。不同光谱响应的探测元会产生残留的固定图形噪声。随着背景温度偏离参考点,固定图形噪声将会增加,增加量取决于探测器响应率曲线偏离线性的程度。经过两点校正后,两个参考点处的空间噪声将会降到最小,其他点的空间噪声会比两个参考点之间区域里的空间噪声大,比两个点之外区域的小。图 5 为参考点改变时的校正效果。当参考点靠近时,两点之间的固定图形噪声会减小^[6,7]。正如图 3~图 5 中所描述的那样,所有受

到噪声影响的输入输出变换都是参考点温度和背景温度的函数 (如 NEDT、非均匀性、MRT、MDT)。

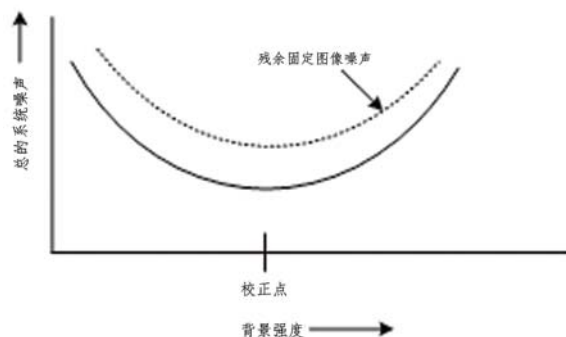


图 3 单点校正后的系统噪声

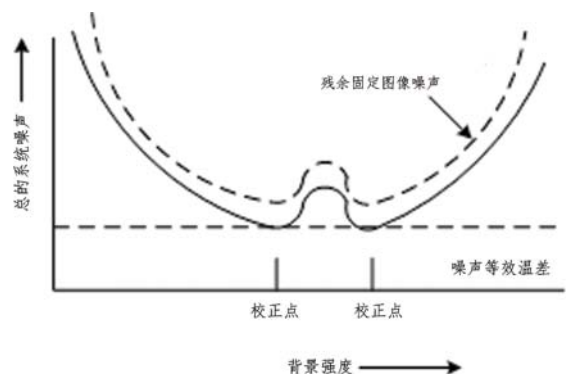


图 4 两点校正后的系统噪声

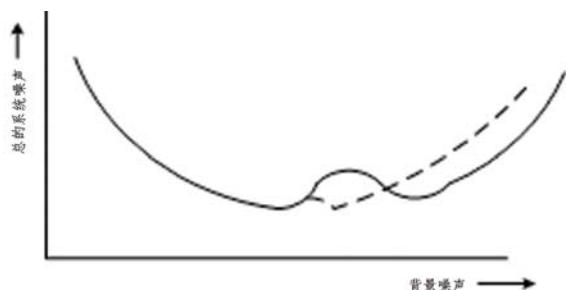


图 5 校正点对系统噪声的影响

在扫描系统中加入参考黑体, 这样在无有效的扫描时间里探测器探测到的便是参考黑体的温度。将探测器根据参考黑体温度产生的输出储存在存储器里, 用来对每一帧图像进行非均匀性校正。这种方法的优点是参考温度可根据场景的动态范围变化 (基于场景的校正), 场景的总 ΔT 很小。实际上, 根据图 5 所示的变化, 这

种动态校正办法能确保对所有场景的非均匀性都最小。

在凝视系统中, 无法将参考黑体加入光路中。校正将在硬件中进行, 假设探测器的增益和偏置不随时间改变, 校正效果便取决于探测器的稳定性。对许多凝视系统来说, 这个假设是成立的。

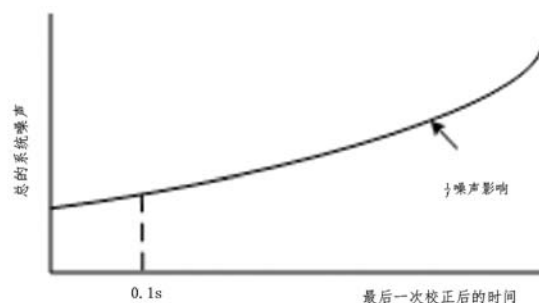


图 6 噪声表现为固定图形噪声

固定图形噪声其实并不固定, 它是以缓慢的速度变化的。如果没有进行校正, $1/f$ 噪声会产生一种变化缓慢的输出信号, 并以固定图形噪声的形式出现, 噪声的总量取决于 $1/f$ 的特性以及最后一次校正的时间间隔。如图 6 所示, 如果一个系统开机后只校正过一次, 则其噪声将随时间缓慢增加。

2 伽马校正

我们希望得到一个线性系统, 也就是说, 如果信号强度加倍, 则显示器的亮度也跟着加倍。但是, 基于阴极射线管显示器的输出亮度和输入电压之间的关系是非线性的^[8], 它们之间存在对数尺度上的关系, 其斜率就是显示器伽马值 (见图 7)。

为了得到线性关系, 在输出之前, 将逆伽马处理作为一种图像处理算法 (伽马校正) 加入到系统中。这时, 模拟视频的输出电压与输入信号强度之间不再是线性关系。这种关系影响从模拟视频信号中采集的所有数据, 其结果可以精确量化, 而且可以用数学方法从数据中消除。如果存在伽马校正算法, 则只有在观察基于阴极射线管显示器时才能保证输入输出的线性。

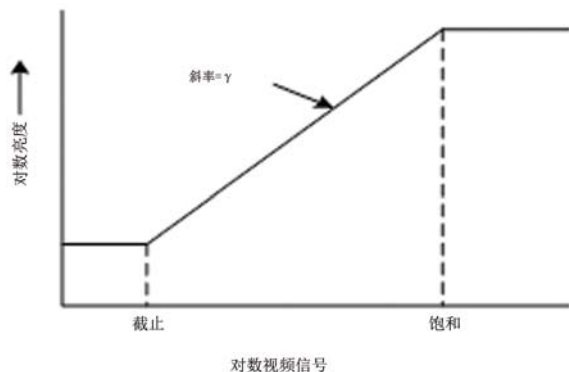


图 7 显示器伽马值的定义 (一个理想的系统伽马值为 1)

经过伽马校正后的模拟图像输出电压为

$$V_{ANALOG\ VIDEO} = V_{IN}^{(\frac{1}{\gamma})} \quad (1)$$

对不同伽马值, 显示器亮度为

$$L = K(V_{ana\ video})^{\gamma} = K(V_{IN}^{(\frac{1}{\gamma})})^{\gamma} = KV_{IN} \quad (2)$$

达到了所希望的线性输出。

3 图像重建及显示器

视频信号在产生、传输和接收过程中会产生各种各样的噪声。在传输过程中我们采用的是数字信号, 经 D/A 转换器后的输出呈明显的阶梯状, 台阶出现在每一个数字采样点上。重建滤波器能使数据连线变平滑并去除台阶, 输出为模拟视频信号。文献 [9] 中对比了粒子过滤、马尔科夫随机场和原 NL 平均方法等常用的重建滤波技术。根据具体图像特性的不同, 我们可以选用不同的滤波方法。9 MHz 的巴特沃斯低通滤波器是最常用的重建滤波器 [10]。根据重建滤波器的不同要求, 可设计不同参数的滤波器。根据设计参数, 可以在巴特沃斯低通滤波器元件参数表中得出具体的滤波器设计参数。

在红外成像系统中, 显示器可以是系统集成的一部分, 也可以是独立的。在具有伽马校正的系统里, 显示器必须具有相同的伽马值, 这一点很重要。但显示器所列的规格并不总与此相关, 显示器可能说明了电子带宽、可达到的线数或者可分辨的线数。分辨率也可以用其他方法来确定, 如收缩光栅法、电视分辨率相关或者通

过测量调制传递函数的方法。此外, 显示器各不相同, 它们的响应可以测量出来。高品质的显示器可以使上述大部分问题减至最少。

最后, 显示器的格式必须和系统格式一致。对像质进行主观评价的时候, 所显示的图像有合适的宽高比是很重要的。例如, 一个红外系统可以有 1:1 的图像宽高比, 输出等同于 RS170 格式。如果显示在标准的显示器上 (4:3 的宽高比), 图像在水平方向上会被拉长, 一个圆就会变成椭圆。但是帧捕捉器可以近似地将一个宽高比为 4:3 的图像数字化, 并在计算机的显示器上以 1:1 的宽高比显示出来。这样, 圆在水平方向上被压缩, 椭圆就又显示成了圆。

4 系统建模

红外探测器输出的模拟图像经过 A/D 转换器后, 输出的数字图像要进入如图 8 所示的功能化模块图。通过增益/电平归一化处理, 固定图形噪声和空间噪声被抑制。如果系统含有探测器阵列, 且这个阵列与模拟视频的格式不相符, 那就要对这个系统进行图像格式化。经过伽马校正后, 可得到一个线性系统, 其显示器亮度和输入成正比。图像处理过程中, 信号是以数字的形式传输的。为了便于观察, 必须对信号进行重建。首先, 经过 D/A 转换器将数字信号转换为模拟信号, 由于系统中存在毛刺噪声和混叠噪声, 输出图像会受到影响。这些噪声主要以高

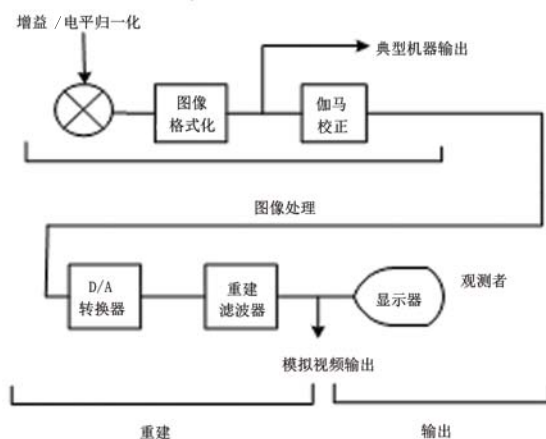


图 8 系统建模

(下转第 9 页)