

151-155  
⑩

# 实时红外图像非均匀性校正技术研究\*

王钰 陈钱 殷德奎 张保民  
(南京理工大学电光学院光电技术系,江苏,南京,210094)

TN211  
TN919.8

**摘要** 在分析红外图像非均匀性噪声产生机理的基础上,介绍了红外成像系统非均匀性校正原理,从数字图像处理的角度阐述了校正方法,提出了因子加权校正结构,并给出了其硬件实现.利用该方法可以有效地消除红外图像的非均匀噪声,增强红外图像的视觉质量.

**关键词** 非均匀性校正, 视频处理, 图像增强, 红外图像, 实时处理.

## 引言

为了提高红外成像系统的分辨率和灵敏度,从第一代红外成像向第二代红外成像系统发展的重要标志就是把系统的探测器个数从二百元以下增加到几千元至几十万元.如此多的探测器带来了一个严重问题,即由于各个探测器的响应度的不一致,导致在图像中产生对观察者视觉的强烈干扰.尤其是在第一代红外成像系统中,由于采用了一维线列探测器并行扫描方式,其中多个探测器的非均匀性会导致图像上出现水平纹理,使得输出图像的视觉效果很差.在现有条件下只能采用后校正的方法来消除这种非均匀性的影响,即把同样入射辐射下的不同探测器的响应信号补偿到同一信号电平上.而对于同一探测单元,在校正过程中还必须考虑到其响应与目标的辐射照度之间的函数关系.若探测单元的输出电压与目标的辐射照度成线性关系,可采用一点定标校正算法,若采用二点定标校正算法甚至多点定标校正算法则可以得到更好的校正效果.而当探测单元的输出电压与目标的辐射照度为非线性关系时,为了在全动态范围内有效地进行非均匀性校正,只有采用多点定标校正算法才有可能取得较好的校正结果.

## 1 非均匀畸变因素分析

线列探测器并行扫描是第一代红外成像系统的典型扫描方式.多元探测器的响应度不一致造成了图像水平纹理,视觉观察极为敏感.对于  $n$  元线列探测器 ( $i=0,1,\dots,n-1$ ),由于其响应度的非均匀性存在,在同样的入射照度  $E_{\lambda}$  作用下将引起不同的输出信号  $V_{i0}, V_{i1}, \dots, V_{i(n-1)}$ .对于探测器响应度的非均匀性 (PRUN),一般定义为:各探测单元在二分之一饱和辐射量下所输出的原始响应等效电压信号与其平均值之比,即:

$$PRUN = \frac{1}{\bar{V}_i} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} (V_{i0} - \bar{V}_i)^2}, \quad i = 0, 1, \dots, n-1. \quad (1)$$

\* 江苏省青年科技基金(编号:BQ98030)资助项目  
稿件收到日期 1998-05-22,修改稿收到日期 1998-12-14

式(1)中 $\bar{V}_i$ 为探测器各单元原始响应信号的平均值.

若探测器的光谱响应度  $R_i = V_{\alpha_i} / \varphi_i$  与波长无关,且考虑无照射辐射时探测器输出的暗电流信号  $V_{\alpha_i}$ ,于是有探测器的响应关系为:  $V_{\alpha_i} = R_i \varphi + V_{\alpha_i}$ ,在该式中  $\varphi = \frac{\pi}{4F^2} \varepsilon \tau_0 \tau_a A_d \int_{\Delta\lambda} L_d d\lambda$  表示汇聚到探测器焦平面上的景物辐射功率.

理想情况下,探测器单元在达到饱和之前,产生的信号应与辐射量成线性关系,即:  $V_{\alpha_i} = R_i \varphi + V_{\alpha_i}$ ,且  $R_i$  为常数.而各个探测单元的  $R_i$  的不同导致了探测器的非均匀性.在实际中,某些探测器还具有非线性响应特性,即对于不同的入射辐射,探测器具有不同的响应度,其响应度曲线不是直线,也就是说,在式  $V_{\alpha_i} = R_i \varphi + V_{\alpha_i}$  中,  $R_i$  不是常数,它随  $\varphi$  变化而变化.由此可见,在种情况下探测器非均匀性校正应从探测器响应度的非均匀性与非线性两个方面综合考虑.

## 2 非均匀性校正

当探测器的响应度为线性关系时,可以采用一点校正法来校正其响应的非均匀性.一点校正法就是在同一辐射条件下把各个探测器的输出信号  $\{V_{\alpha_i}\}$  校正为一致,即在某一入射辐射  $\varphi(T_1)$  下,把不同的探测器输出信号  $V_{\alpha_i}$  校正为其平均信号  $V_i(T_1)$ .按照线性关系进行校正时,有校正方程为:

$$V'_i = \alpha_i V_{\alpha_i}, \quad i = 0, 1, \dots, n-1 \quad (2)$$

式(2)中,  $V_{\alpha_i}$  和  $V'_i$  分别是校正前后第  $i$  个探测器的输出信号,  $\alpha_i$  为第  $i$  个探测单元的校正因子.

校正过程分为标定和补偿两步.首先应测出探测器各单元在同一辐射条件下的输出响应  $\{V_{\alpha_i}\}$ ,用下式求出各单元的校正因子  $\{\alpha_i\}$ :

$$\alpha_i = \bar{V}_i / V_{\alpha_i} \quad (3)$$

式(3)中,  $\bar{V}_i$  为探测器各单元原始响应信号的平均值.将校正因子  $\{\alpha_i\}$  存入相应的存储单元,这样就完成了不均匀性的标定.将实际的探测器单元响应信号与各自的校正因子相乘,即完成非均匀性的补偿.

一点校正法仅能在一个定标点处把探测器各单元的输出信号校正为一致,随着相对于这个定标点的偏离越大,由于探测器各单元响应度的非一致性,校正误差也越大.为此,引入两点校正法,该方法就是把各个探测器的输出信号  $V_{\alpha_i}$  校正为在某两个辐射点  $\varphi(T_1)$  和  $\varphi(T_2)$  处相一致,即在入射辐射  $\varphi(T_1)$  和  $\varphi(T_2)$  处把不同的探测器信号  $V_{\alpha_i}$  校正为一致的平均信号  $V_i(T_1)$  和  $V_i(T_2)$ .按照线性关系进行校正时,有校正方程为:

$$V'_i = \alpha_i V_{\alpha_i} + b_i, \quad i = 0, 1, \dots, n-1 \quad (4)$$

式(4)中,  $V_{\alpha_i}$  和  $V'_i$  分别是校正前后第  $i$  个探测器的输出信号,  $\alpha_i$  为第  $i$  个探测单元的校正因子.

两点校正过程也分为标定和补偿两步.首先应测出探测器各单元分别在同一辐射  $\varphi(T_1)$  和  $\varphi(T_2)$  条件下的输出响应  $\{V_{\alpha_i}(T_1)\}$  和  $\{V_{\alpha_i}(T_2)\}$ ,用下式求出各单元的校正因子  $\{\alpha_i\}$ :

$$\alpha_i = \frac{\bar{V}_s(T_2) - \bar{V}_s(T_1)}{V_n(T_2) - V_n(T_1)}, \quad (5)$$

式(5)中,  $\bar{V}_s(T_1)$ 和 $\bar{V}_s(T_2)$ 为探测器各单元在入射辐射  $\varphi(T_1)$ 和  $\varphi(T_2)$ 作用下的原始响应信号的平均值. 于是有校正方程为:

$$V'_n = \alpha_i[V_n - V_n(T_1)] + V_n(T_1). \quad (6)$$

将校正因子  $\{\alpha_i\}$ 存入相应的存储单元,这样就完成了不均匀性的标定. 然后将实际的探测器单元响应信号与各自的校正因子相乘,再加上各探测单元的偏移量,即完成非均匀性的补偿. 由此可见,两点校正法实际上就是在第一定标点处把各响应曲线平移至平均响应值上,然后以此点为轴,将各响应曲线旋转至第二定标点处平均响应值上.

应用两点校正法对具有线性响应的探测器进行校正,可以取得很好的校正效果,理论上可以完全消除非均匀性,是一种简易而有效的校正方法. 但实际上,由于探测器响应的非线性特性,即对于不同的入射辐射,探测器具有不同的响应度,响应曲线不是直线. 一般认为探测器响应与入射辐射服从如下式所示的抛物线模型:

$$(V_n + c)^2 = a\varphi + b, \quad (7)$$

式(7)中可以根据探测器的饱和入射辐射确定系数  $a$ . 这时如果仍然使用两点校正法就必然会引入误差,而一点校正的误差则更大,因此为了减小校正误差,应引入多点校正法,利用分段线性函数来逼近非线性响应.

对于多点校正法可以通过分段线性校正来实现. 在每个标定区间内将各个探测器的非线性响应当作线性响应来处理,通过平移和旋转而校正为一致,方法同两点校正法,对所有定标区间进行类似的校正,从而把多个非线性响应探测器校正为一致. 对于多个定标点的选择应非常接近,以使区间内响应可以近似认为满足线性关系,从而减小校正误差.

### 3 非均匀性校正硬件实现

上述非均匀性校正方法中,一点校正法和两点校正法都可以看作是多点校正法的简化与特例,因此多点校正法更具有普遍意义,所以本文仅给出多点校正法的硬件实现方法. 由于视频信号处理的高速实时性与大数据量等特点,因此为了满足其速度要求,常常采用查询表结构来实现信号的变换校正. 然而,如果简单地把像素地址和像素灰度作为索引查询表中的校正信号,那么随着图像采样分辨率的提高和量化级的增加,就会对存储器的容量提出过高的要求. 因此本文提出一种因子加权校正结构以解决这种矛盾,其设计思想如下:

首先将探测器输出信号数字化,在全部有效范围内变化入射辐射,使输出信号差值尽可能小,利用两点校正法分别计算出各个区间的校正因子,并取校正因子分布最丰富的一组固化在第一级  $E^2$  PROM 存储器中作为加权因子,这样我们可以获得最多的校正曲线;然后以加权因子作为段地址,在该段存储器内固化内容为对应于该校正因子的探测器单元的最佳校正曲线,这样就完成了定标的过程. 在实际工作过程中,由像素地址作为寻址信号得到加权因子,再与该像素值组合寻址输出即为补偿后的信号,这就是因子加权校正结构的设计. 该系统的电路原理方框图如图 1 所示.

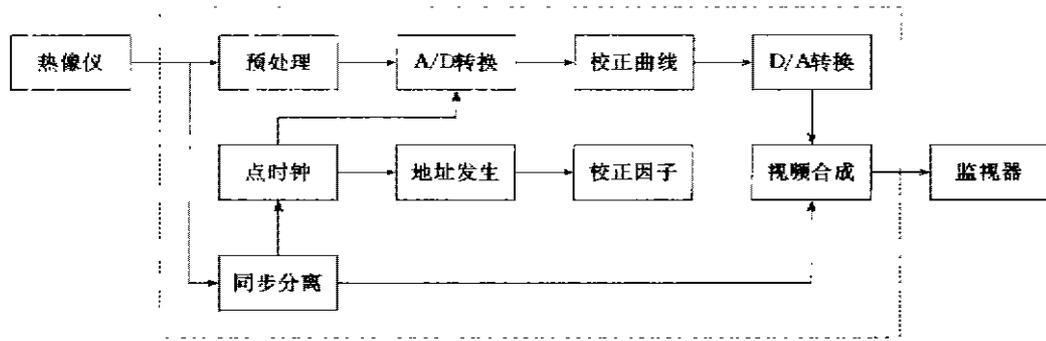


图1 红外图像非均匀校正原理框图

Fig. 1 Block diagram of IR image nonuniformity correction

从红外成像系统输出的视频信号其幅值较小,因此在电路的输入端设计了放大电路,首先对视频信号进行放大预处理,以便提高 A/D 转换的精度;在点时钟作用下,A/D 转换输出的数字视频信号与对应像素地址信号寻址输出的校正因子组合,作为寻址信号查寻校正曲线,此时存储器的输出就是经过非均匀性校正后的数字视频信号;再通过 D/A 转换与视频合成从而得到标准全电视信号,最后送往监视器进行图像显示。

#### 4 结语

在第一代红外成像系统中,由于采用了一维线列探测器并行扫描方式,其中多个探测器的非均匀性会导致图像上出现水平纹理,使得输出图像的视觉效果很差,所以必须进行非均匀性校正以改善图像质量.文中给出了应用数字图像处理技术对红外图像进行非均匀校正的原理,提出并实现了因子加权校正电路的设计.该校正电路能有效地实现红外图像非均匀性的实时校正,得到较为完美的图像显示质量,大大改善了图像的观赏效果.该校正方法的大量工作在于红外图像非均匀性的标定,而校正电路为板级结构,具有体积小、重量轻等特点,不会给红外成像系统增加过多的复杂性,在国防、工业检测、医学成像等领域有着广泛的实用价值。

#### REFERENCES

- 1 Waldman G, Wootton J. *Electro-Optical Systems Performance Modeling*. Artech House INC. ,1993
- 2 YANG Yi-He, YUE Min. *Infrared System*. Beijing: National Defense Industry Press (杨宜禾,岳敏. 红外系统,北京:国防工业出版社),1985
- 3 YIN De-Kui. Study on the FLIR image processing and its application. Ph. D. Dissertation: Northwest Polytech University (殷德奎. 前视红外图像处理及其应用研究. 博士学位论文,西北工业大学),1996
- 4 Cheung L, *et al.* Computer simulation of spatial nonuniformity correction in a staring sensor. *Proc. of SPIE*. 1988, **972**:65~82
- 5 Husson T R. *et al.* Real-time infrared image processing, *IEEE CH* 1595-8/81, 1981, 478~480
- 6 Accetta S, Shumaker L. *The Infrared and Electro-Optical System Handbook. IIAC & SPIE*, Vol. 5, 1996

## REAL-TIME NONUNIFORMITY CORRECTION TECHNIQUE FOR INFRARED IMAGE \*

WANG Yu CHEN Qian YIN De-Kui ZHANG Bao-Min

(Dept. of Electro-Optical Tech., Nanjing Univ. of Sci. & Tech., Nanjing, Jiangsu 210094, China)

**Abstract** Based on the analysis of the generating mechanism of nonuniformity noise in the infrared image, the principle of nonuniformity correction for infrared imaging system was presented. The correction method using digital image processing technique was discussed. A factor-weighted correction circuit architecture and its hardware implementation were presented. By adopting the technique in the infrared imaging system, the nonuniform interference of the infrared image was suppressed effectively, and the visual quality of the infrared image improved greatly.

**Key words** nonuniformity correction, video processing, image enhancement, IR image, real-time processing.

---

\* The project supported by the Youth Science Foundation of Jiangsu Province, China  
Received 1998-05-22, revised 1998-12-14