

# 一种新的红外焦平面阵列非均匀性 实时校正方法研究\*

李 兵 袁祥辉 潘银松

(重庆大学光电工程学院, 重庆, 400044)

**摘要** 分析了影响均匀性的主要因素和传统的校正方法, 提出了利用半导体存储器的函数变换功能对红外焦平面阵列的非均匀性进行校正存储的实时校正新方法. 阐述了校正的原理和实现的具体步骤; 介绍了硬件电路原理框图和工作过程, 并给出了实验结果. 实验证明了这种方法的优越性, 并取得了满意的实验结果.

**关键词** 非均匀性, 函数变换, 红外焦平面阵列, 实时校正.

## A NEW METHOD FOR REAL-TIME CORRECTION OF NONUNIFORMITY OF IRFPA\*

LI Bing YUAN Xiang-Hui PAN Yin-Song

(Optoelectronic Engineering Institute of Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract** After analyzing the main cause of generating nonuniformity and traditional correction ways, a real-time new method which makes use of function transform of semiconductor memory to correct nonuniformity of IRFPA was presented. Then the correction principle and main steps were described. The block diagram of hardware circuit and the work processes were introduced. The experimental results are satisfactory, showing advantages of this method.

**Key words** nonuniformity, function transform, IRFPA, real-time correction.

### 引言

非均匀性是指红外焦平面阵列(IRFPA)在同一均匀光场辐射下各单元的视场输出幅度的不一致; 又称为固有空间噪声<sup>[1,2]</sup>. 非均匀性主要与制作器件的半导体材料的非均匀性及生产工艺过程控制有关, 还与器件的工作状态以及外界输入(如探测器的偏置电压、电流或光学系统等)有关. 对于红外焦平面阵列来说, 影响非均匀性的因素主要有: 响应率的非均匀性(包括光谱响应的非均匀性), 读出电路自身和它与探测器耦合的非均匀性, 暗电流的非均匀性<sup>[3]</sup>. 在现有的技术条件下, 要生产出具有理想均匀性的器件非常困难<sup>[1,4,5]</sup>, 因此, 对红外焦平面阵列的非均匀性进行校正, 具有重要的应用价值和意义<sup>[6]</sup>.

### 1 红外焦平面阵列非均匀性校正的原理

由于IRFPA在红外成像系统中的应用是大势

所趋, 并最终将代替扫描成像系统, 因此解决焦平面阵列的非均匀性校正问题就显得尤其重要. 希望通过非均匀性校正, 改善器件的性能, 提高其成像质量. 传统的校正方法, 有的电路复杂, 调试困难; 有的校正速度慢(如采用软件校正的方法), 不能满足实时校正的要求; 而有的校正范围较窄, 残留非均匀性较大(如一点法或两点法). 总之, 不能在性能价格比速度上达到有机的统一. 我们讨论一种新的非均匀性实时校正方法.

新的非均匀性实时校正方法, 主要利用半导体存储器的函数变换功能. 存储器的基本应用是数据或程序存储, 它的输入是地址A, 输出量是与地址A相对应的存储器单元内的数据D. 如果数据D在写入存储器时按照 $D = f(A)$ 的函数关系, 就使数据D和地址A之间具有了 $D = f(A)$ 的函数变换功能. 因此, 将红外焦平面阵列的非均匀性数据进行校正后存储; 然后, 把经过A/D转换后的视频信号数据

\* 国防预研基金(编号: 2.2.7.5)资助项目

稿件收到日期 2000-01-28, 修改稿收到日期 2000-06-19

\* The project supported by the Preliminary Research Foundation of National Defense (No. 2.2.7.5).

Received 2000-01-28, revised 2000-06-19

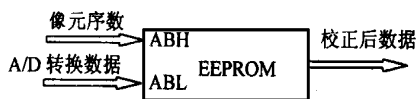


图 1 非均匀性校正原理图

Fig. 1 Principle diagram of nonuniformity correcting

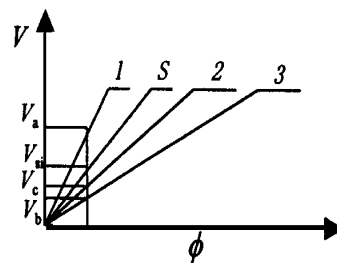


图 2 光电转换特性图

Fig. 2 Characteristic of optoelectronic conversion

作为存储器的一倍分地址输入, 直接从存储器输出端就可以获得校正后的数据. 其原理如图 1 所示.

假设红外焦平面阵列各像元的光电转换响应特性呈线性, 其非均匀性主要表现为光电转换特性曲线斜率的不一致和暗电流的不同. 假设有一个 3 像元的焦平面阵列的光电转换特性曲线如图 2 所示 (通过坐标平移总会得到). 在某个辐射强度  $\phi$  下, 各个像元视频输出幅度不一致, 分别为  $V_a$ 、 $V_b$ 、 $V_c$ . 如果我们以图 2 中的 S 曲线作为标准, 在这一点将它们都校正为  $V_{si}$ . 利用半导体存储器的函数变换功能, 将  $V_a$ 、 $V_b$ 、 $V_c$  数字化后的量作为地址, 相应的地址单元都写成  $V_{si}$ . 当相应的视频信号值通过 A/D 转换数字化后寻址, 存储器的输出量就是校正后的值. 这样就实现了焦平面阵列非均匀性的实时校正. 其它辐射强度依此类推.

## 2 非均匀性校正的实现

从上述的校正原理可知, 这种校正方法的实现分成两步进行. 首先是非均匀性校正数据的形成, 包括原始视频信号的测试和非均匀性校正数据的组织; 最后是非均匀性实时校正的硬件实现. 校正应遵循以下几个原则<sup>[7]</sup>: (1) 所有的像元在校正后都能按光电转换特性产生输出信号; (2) 校正后探测器的工作范围要尽量宽; (3) 校正的数学模型和硬件电路要尽量简单.

### 2.1 非均匀性校正数据的形成

非均匀性校正数据的准确程度极大地影响着非均匀性校正的结果. 因此原始视频信号的测试精度和像元光电响应特性模型至关重要. 前面我们假定像元的光电响应特性呈线性, 当然就可以只测试几个辐射点的视频输出通过直线拟合, 对没有测试的点进行插值校正. 实际上, 其光电响应特性一般呈非线性, 通常认为探测器的响应与入射辐射呈式 (1) 所示的抛物线模型:

$$(V_0 + c)^2 = a\phi + b; \quad (1)$$

式 (1) 中  $V_0$  为视频输出,  $a$  为探测器响应灵敏度,  $c$ 、 $b$  为常数. 但为了减小数学模型和计算的复杂程度,

还是采用线性响应模型和线性校正的方法, 即用逐段线性来逼近其响应的非线性. 实验结果证明是可行的. 在测量原始视频信号时, 当辐射强度的变化使得视频输出变化小到只有一个单位时, 所得的数据最符合其响应特性, 当然所获得的非均匀性校正数据也最准确. 我们将每一个像元的非均匀性校正数据组织起来存储在半导体存储器中的一段.

### 2.2 非均匀性实时校正的硬件电路

按上述原理, 非均匀性实时校正的硬件电路原理图如图 3 所示. 它主要包括像元计数器、逻辑控制电路、视频信号预处理电路、A/D 转换器、两片 EEPROM 以及 D/A 转换器等几部分. 当红外焦平面阵列的扫描起始信号 S 开始后, 将像元计数器清零, 移位时钟信号 CP 才有效. 接着移位时钟信号 CP 依次移出视频信号  $V_i$ , 同时使像元计数器开始计数, 启动 A/D 转换. 像元计数器从 EEPROM 2 中寻址出来的值作为 EEPROM 1 的高位地址, 同时 A/D 转换的值作为 EEPROM 1 的低位地址, 由它们共同组成的地址寻址出 EEPROM 1 中相应单元的值便是非均匀性校正后的数字量  $DB_c$ , 从 D/A 转换器输出端可以获得校正后的模拟输出  $V_{ic}$ . 这样就完成了非均匀性的实时校正.

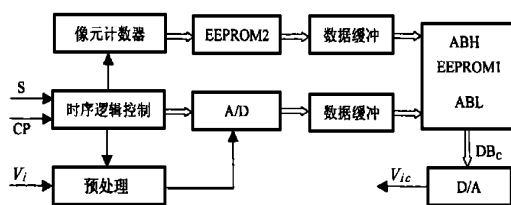


图 3 非均匀性实时校正硬件电路框图

Fig. 3 The hardware circuit block diagram for the real-time correcting nonuniformity

### 2.3 关于 EEPROM 2 的必要性

在红外焦平面阵列中, 许多像元的光电响应特

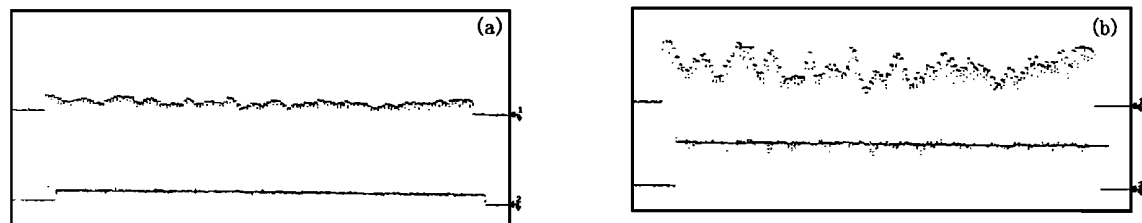


图 4 非均匀性实时校正范围实验结果

(a) 低光强下校正前后波形 (b) 高光强下校正前后的波形

Fig. 4 The experiment result of real-time correcting nonuniformity

(a) raw video signal and corrected video signal under low irradiation

(b) raw video signal and corrected video signal under high irradiation

性非常相近. 因此, 如果直接将像元计数器接在 EEPROM 1 的高端地址上, 会浪费掉它的许多存储空间. 特别是随着采样分辨率的提高和像元数的增加, EEPROM 1 的容量将要求非常大, 不仅成本高, 甚至可能找不到合适的存储器. 因此若按照某种原则, 把响应特性相近的像元合成一个, 这样就可以把像元数减少许多. 本文实验中, 像元数减少了 75% (从 128 减少到 31). 采用的是 8 位 A/D 转换器, EEPROM 1 的容量也从  $32K \times 8$  减小到  $8K \times 8$ . 另外, 对于采用 MOS 型读出电路的线阵, 最前面都有空像元(虽然移位时钟信号有效, 但没有视频输出)存在, 而面阵的时序电路则要考虑“回扫”问题, 一般每一行扫描完后, 都要留出 2 个像元的采样时间间隔. 因此, 像元计数器的计数和实际的像元序数不一致. 由于非均匀性校正数据组织起来比较复杂. 所以, 为了便于非均匀性校正数据的组织而加上一片 EEPROM 是非常必要的.

本文研究了一种利用半导体存储器函数变换功能对红外焦平面阵列非均匀性进行实时校正的新方法. 我们采用自扫描光电二极管阵列(SSPA) CL128 作实验, A/D 转换器用的是 AD775 (8 位分辨率, 最大输入电压为 2.5V, 采样频率可达 20M), 校正前的视频信号非均匀性超过 120%, 图 4 给出了它的校正前后视频输出信号波形, 其中, 图 4(a) 中的通道 1、2 分别为低输入光强下校正前后的波形, 图 4(b) 中的通道 1、2 分别为高输入光强下校正前后的波形. 实验证明, 这种方法实现校正的硬件电路相对

较简单, 调试方便, 残留非均匀性非常小(小于 2%), 速度快, 可以在很大的工作范围内(85%)对其非均匀性进行实时校正, 具有良好的效果. 由于 SS-PA 的视频信号输出采用的是 MOS 型移位寄存器, 校正后主要还存在着一定的固定模式噪声(Fixed Pattern Noise), 但一般不影响其使用.

## REFERENCES

- [1] Scribner D A, Kruer M R, Killiany J M. Infrared focal plane array technology, *Proc. of the IEEE*, 1991, **79**(1): 66—85
- [2] LIU Hui-Tong, Test and verification of the residual nonuniformity in IRFPA, *Laser & Infrared* (刘会通. 红外焦平面阵列剩余非均匀性的测试和检验, 激光与红外), 1998, **28**(5): 305—307
- [3] HU Xiao-Mei, Study on IRFPA nonuniformity and its correction, *Infrared and Laser Engineering* (胡晓梅. 红外焦平面探测器的非均匀性与校准方法研究, 红外与激光工程), 1999, **28**: 9—12
- [4] YUAN Xiang-Hui. *Solid State Image Sensor and Its Application (revised edition)*, Chongqing: Chongqing University Press (袁祥辉. 固体图像传感器及其应用(修订版), 重庆: 重庆大学出版社, 1996: 68—76
- [5] YUAN Xiang-Hui, WAN Wen-Lue. New method for nonuniformity correction of solid state image sensor, *SPIE*, 1995, **2564**: 160—163
- [6] Milton A F. Influence of nonuniformity on infrared focal plane array performance, *Optical Engineering*, 1985, **24**(5): 855—862
- [7] Schulz M, Caldwell L. Nonuniformity correction and correctability of infrared focal plane arrays, *Infrared Physics & Technology*, 1995, **36**: 763—777