

热释电型红外焦平面阵列成像模拟实验研究

潘银松 李兵 汪涛 袁祥辉
(重庆大学光电工程学院, 重庆, 400044)

摘要 讨论了热释电型红外焦平面阵列成像系统及基本的信号处理, 包括信号差分处理、非均匀性校正等, 利用自扫描光电二极管阵列(SSPA)对热释电型红外焦平面阵列成像系统进行了模拟实验, 获得了满意的图像, 为进一步研制热释电型红外焦平面阵列成像系统打下了基础。

关键词 热释电, 红外焦平面阵列, 模拟, 信号差分, 成像系统。

EXPERIMENTAL RESEARCH ON SIMULATION OF PYROELECTRIC IRFPA IMAGING SYSTEM

PAN Yin-Song LI Bing WANG Tao YUAN Xiang-Hui
(Optoelectronic Engineering School of Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract Pyroelectric IRFPA imaging system and its basic signal processing, including nonuniformity correction and signal difference, etc., were discussed. By the experiments with SSPA to simulate the pyroelectric IRFPA imaging system, the satisfied image was obtained. It lays foundations for the development of pyroelectric IRFPA imaging system.

Key words pyroelectric, IRFPA, simulation, signal difference, imaging system.

引言

近年来, 红外焦平面阵列的研究已取得了令人瞩目的成就. 而非致冷型焦平面阵列(UFPA)的突破进展使得红外摄像系统可实现非致冷、小型化、低成本, 不但开拓了红外焦平面阵列技术更为广阔的军用领域, 并使之大踏步地进入了民用市场. 目前, 非致冷型红外焦平面阵列的研究主要集中在两种类型, 即热释电型 UFPA 和微测辐射热计型 UFPA, 它们各有自己的优势^[1]. 本文对热释电型 UFPA 的信号处理及成像进行了研究.

1 热释电型红外焦平面阵列成像模拟实验系统设计

在极性分子构成的晶体中, 当晶体温度变化时, 宏观电极化强度发生变化, 亦即自发极化随温度而变. 但自发极化引起的束缚电荷很难直接测量, 这是因为晶体中存在自由电荷, 晶体表面又存在吸附电荷, 这两种电荷对束缚电荷有屏蔽作用, 从而使晶体各处保持电中性, 而束缚电荷的弛豫时间远比这两种电荷的弛豫时间短得多. 所以要使晶体温度迅速

变化才可以观察到束缚电荷的变化. 电荷的变化量正比于极化强度变化量同温度变化量的比值. 因此, 热释电红外焦平面阵列需要以适当的频率交替接收入射的场景温度和参考温度, 才能不断地获得目标探测信号, 很明显, 需要一个斩波器来改变入射的场景温度和参考温度. 同时, 在热释电 UFPA 尚未研制出来之前, 用可见光来代替红外光, 用 SSPA 图像传感器代替红外 UFPA 作模拟实验, 可提前研究有关信号处理技术, 加快热释电型 UFPA 成像系统的开发进程.

1.1 模拟实验系统框图

根据热释电型红外焦平面探测器的工作原理, 采用如图 1 所示的模拟实验框图. 用斩波信号作为 SSPA 驱动信号源的同步信号, 光辐射在斩波器控制下, SSPA 敏感元交替接收入射场景温度和参考温度, 分别得到亮场和暗场下的输出信号, 经过信号预处理、前置放大和 A/D 转换后, 将其暂存一个场周期或一个帧周期, 经过差分处理得到视频信号. 再经过对视频信号处理, 包括非均匀性校正、偏移校正、对比度变化、亮度变化等, 就可以将获得的目标探测信号显现出来. 为了提高其工作速度, 上面的许

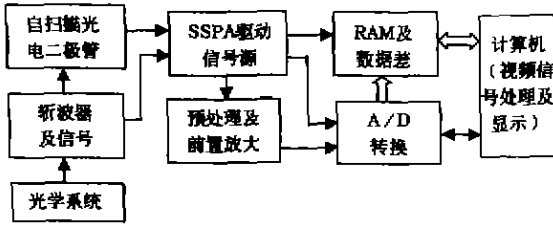


图1 热释电红外焦平面阵列成像模拟实验框图
Fig.1 The block diagram of simulation experiment of imaging using pyroelectric IRFPA

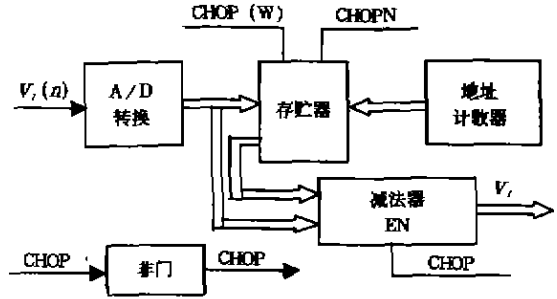


图2 图像信号硬件差分处理原理框图
Fig.2 The block diagram of image signal difference processing by hardware

多信号处理都必须采用硬件电路进行实时处理。

1.2 图像信号的差分处理^[2,3]

由于热释电型红外焦平面阵列需要以适当的频率交替接收入射的场景温度和参考温度,即当

$$\begin{cases} V_i = V_i(n) - V_i(n - 1), \\ V_i = \frac{1}{2} [2V_i(n) - V_i(n - 1) - V_i(n + 1)] \end{cases} \quad (1)$$

时,才能不断地获得目标探测信号,式中 \$V_i\$ 为第 \$i\$ 像元的视频信号输出, \$V_i(n)\$ 为其第 \$n\$ 场视频信号输出.因此,目标探测信号实际上就是连续两个场景温度和参考温度下图像信号的差值.一般采用连续两场或三场图像信号差分处理.对于某个像元来说,其视频信号输出如公式(1)所示.既可采取硬件差分的方法来实现,也可采用软件差分的方法来实现,图2给出了一个两场硬件差分方法实现的原理框图.图像信号的差分处理还有以下作用:(1)对于采用MOS型读出电路的焦平面阵列来说,可以消除主要由于读取开关管和视频列线之间的寄生电容而引起的固定模式噪声(Fixed-Pattern Noise);(2)可以消

除由于材料较长的热时间常数而引起的热像“拖尾”(lag)现象(只针对三场差分处理方式而言);(3)同时,也相当于一个高通滤波器,滤除了低频噪声.

1.3 SSPA面阵驱动信号源的设计和实现

实验中使用 \$32 \times 32\$ 元自扫描光电二极管阵列 SSPA 面阵.其工作原理见参考文献[4].采用逐位积分,再逐位读出的工作方式.当用它作模拟热释电型红外焦平面阵列成像实验时,就需要用斩波信号作为 SSPA 驱动信号的同步信号.因此需要根据热释电型焦平面阵列的驱动信号时序来重新设计 SSPA 的驱动信号源.为了设计和调试方便,利用可编程逻辑器件 CPLD(EPM7064S)来做驱动信号源.其波形如图3所示.其中,CHOP为斩波信号;SY为同步信号(扫描起始信号,由斩波信号变换而来),其周期也就是 SSPA 面阵的积分周期;OY1和OY2为Y移位寄存器的两相时钟信号;SX为X移位寄存器起始信号;OX1和OX2为X移位寄存器的两相时钟信号.由于 SSPA 的驱动信号要求幅度为 12V,其

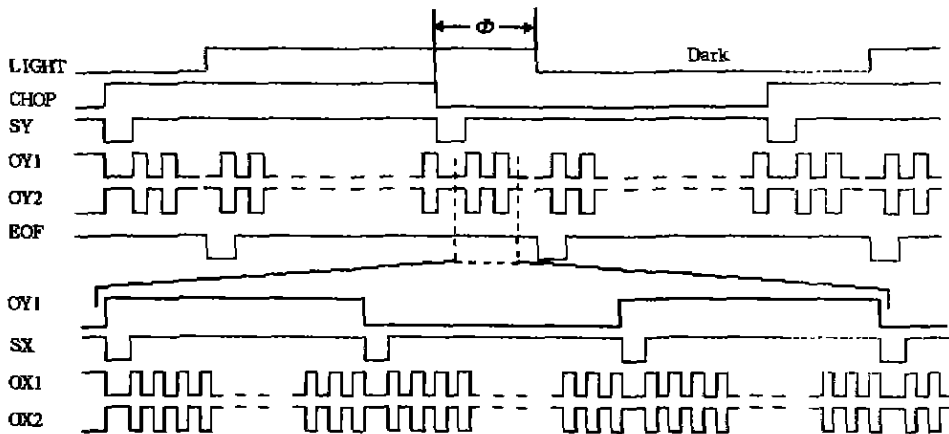


图3 用于模拟实验的 SSPA 信号源波形示意图
Fig.3 SSPA source waveform used for simulation experiment

中高电平为 +5V, 低电平为 -7V, 而 CPLD 的输出电平均为 0~3.3V, 因此还需要进行幅度和极性变换后才能有效驱动。

1.4 成像实验的实现

根据热释电型焦平面阵列和 SSPA 面阵各自的工作特点, 需要将 SSPA 面阵被光照的相位与斩波信号相位至少错开角度 Φ (见图 3)。 Φ 值可表示为

$$\Phi = 2 \times \pi \times \frac{f_1}{n} \times \frac{1}{f_2} \times N \quad (2)$$

式(2)中 f_1 为斩波信号频率, n 为斩波器叶片数, f_2 为 SSPA 视频信号输出频率 (OX1 的倍频), N 为器件像元数以及“回扫”周期数的总和。也就是说, 在器件被光照期间 (亮场积分) 的末尾读出场景温度信号, 而在器件被挡期间 (暗场积分) 的末尾读出参考温度信号。表现在斩波信号上就是: 在亮场的开始读出暗场信号, 而在暗场的开始读出亮场信号 (如图 3 中 LIGHT 与 CHOP 的关系)。还有一点很重要, 由于 SSPA 采用逐位积分、再逐位读出的工作方式, 所以在本系统中造成了面阵的每一列像元积分时间的不同, 前面列的像元积分时间短, 后面列的像元积分时间长。如果帧频较高, 便增加了面阵的非均匀性。因此, 在成像前需采取非均匀性校正 (也包括光路的非均匀性) 以减小非均匀性, 以便更好地提取信号特征。如简单地采用一点法^[5] 进行线性校正, 给每一位视频输出信号值乘上一个系数就可以减小它们的非均匀性。但在本实验系统中, 由于图像信号帧频低, 一场信号的读出时间相对于积分时间要短得多 (约占 2.5% 左右), 所以由于工作方式 (逐位积分, 再逐位读出) 所造成的影响并不明显。

2 实验结果及分析

根据热释电焦平面探测器的工作原理, 用一个

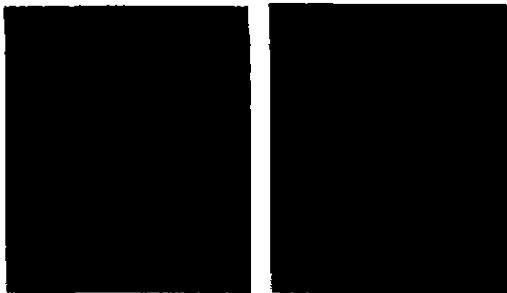


图 4 模拟实验结果

Fig. 4 Simulation experiment

黑白的头像底片作为目标, 利用前面所设计的系统, 在可见光下对其透视像进行探测, 采用 VGA 编程, 获得再现的原始图像如图 4 所示。由于采用的是 32×32 元面阵, 像素点太少, 而又没有加扫描机构, 所以用插点的方式, 扩展成 63×63 的面阵图像。从实验过程和结果来看, 影响实验效果的主要有以下几个因素: 首先, 由于采用的面阵只有 32×32 个像元, 又没有扫描机构, 目标要缩得非常小才能完全成像在光敏面上, 所以其空间分辨率较低; 其次, 由于我们所采用的 $CA32 \times 32$ (面阵) 自扫描光电二极管阵列的每一列采用同一视频线, 视频线上并联了很大的列线寄生电容以及列线寄生光电二极管 (被一层铝膜挡住)。当光强较强时, 列线寄生光电二极管效应比光电二极管效应强得多, 因而列线方向上的有用信号就反映不出来。在实验中必须将光强减得很弱以便基本抑制列线寄生光电二极管的光电效应。所以很多图像信号的细节信息都反映不出来, 降低了图像的灰度等级, 同时使得图像的对比度也较差; 最后, 凝视成像时, 光敏面应该放在成像光学系统的焦面上才能获得最佳图像。受实验条件的限制, SSPA 的光敏面是否真正放在成像光学系统的焦面上的判断很困难, 所以也可能造成图像质量下降。该实验主要提前研究了热释电型红外焦平面阵列成像系统及相关的信号处理, 为进一步研制热释电型红外焦平面阵列成像系统打下了基础。

REFERENCES

- [1] WU Cheng, SU Jun-Hong, PAN Shun-Chen, *et al.* Review on uncooled infrared focal plane technology. *Infrared Technology* (吴诚, 苏君红, 潘顺臣, 等. 非制冷红外焦平面技术述评. *红外技术*), 1999, 21(1): 6-8
- [2] Watton R, Manning P A. The design of low-noise arrays of MOSFETS for pyroelectric array readout (LAMPAR). *SPIE*, 1987, 807: 98-105
- [3] Charles Hanson, Howard Beratan, Robert Owen, *et al.* Uncooled thermal imaging at Texas Instrument. *SPIE*, 1992, 1735: 17-26
- [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: 16-19
- [5] WANG Yu, CHEN Qian, YIN De-Kui, *et al.* Real-time nonuniformity correction technique for infrared image. *J. Infrared Millim. Waves* (王钰, 陈钱, 殷德奎, 等. 实时红外图像非均匀性校正技术研究. *红外与毫米波学报*), 1999, 18(2): 151-155