

基于激光照明的远距离视觉信息采集系统设计

张 瑞<sup>1,2</sup>, 汤心溢<sup>1</sup>

(1. 中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 围绕如何获得高质量远距离夜间视觉信息展开研究, 介绍一种基于红外短波成像与激光照明的视觉系统, 包括基于 FPGA 与 USB 的图像数据采集与传输模块以及基于多波段激光照明系统的设计, 展现了较之与传统的视觉系统更远更清晰的视觉图像效果, 讨论了夜间视觉信息的获取距离与照明光源的关系问题。该系统在夜间远距离情况下效果尤为显著, 为海上监视、单兵装备提供良好视野。

**关键词:** 短波成像; FPGA 数据采集; 激光照明; USB 数据传输

**中图分类号:** E933.41      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001-8891(2019)02-0153-04

Design of Long-distance-vision Information Acquisition System  
Based on Laser Illumination

ZHANG Rui<sup>1,2</sup>, TANG Xinyi<sup>1</sup>

(1. Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** This study focuses on the method for obtaining high-quality long-range night-vision information by introducing a visual system based on infrared shortwave imaging with laser illumination, which includes image data acquisition and transmission module based on FPGA and USB as well as the design based on a multiband laser lighting system. It is shown that the visual system is much farther and clearer than the traditional vision system of the visual image. And the relationship between the acquisition distance of nighttime visual information and the illumination light source is discussed. This system is particularly effective in the case of long-distance night vision and exhibits satisfactory performance in the domains of maritime surveillance and man-to-man combat.

**Key words:** short-wave imaging, FPGA data collection, laser lighting, USB data transmission

0 引言

中国的古代神话故事中的出现过两个人物: 千里眼与顺风耳。这两个人物的出现无一不体现了我国古代劳动人民对远方信息的渴望。随着科学技术的发展, 电话与红外技术的出现, 这两种“法术”已不再遥不可及。红外成像系统因其成像的波长长于可见光, 其对雾霾的穿透能力要远强于可见光, 夜间没有阳光干扰, 红外成像效果更佳。在红外波段又分为远红外与近红外, 波长在 2.0~1000 μm 的远红外具有更好地穿透能力, 但其相应的视觉信息也不够丰富, 难以满足人们对视觉信息的需求。相比远红外, 短波成像产生的数据信息更加丰富准

确, 图像质量更高。在激光照明与短波成像系统中我们采用铟镓砷 (InGaAs) 红外短波凝视型焦平面相机<sup>[1-2]</sup>。

本文基于 USB 的视频传输系统, 其基于数据包的全双工数据传输方式, 可靠稳定, 且方便用户实时对器件进行调整以便获取更高质量的图片信息。同时, 高速的传输特性又可以很大程度上提高图像数据的帧率, 在实际应用可以满足更高的传输需求。

1 系统设计

1.1 探测器选择

铟镓砷 (InGaAs) 材料在红外探测器领域应用

收稿日期: 2017-02-27; 修订日期: 2017-08-24.  
作者简介: 张瑞 (1991-), 男, 博士研究生, 主要从事光电成像工作研究。  
通信作者: 汤心溢 (1970-), 男, 研究员, 博士生导师, 从事凝视型红外成像研究工作。E-mail: tangxini@189.cn。

广泛，因其具有其他材料难以具备的优点。首先铟镓砷材料很好地覆盖了  $1\sim3\text{ }\mu\text{m}$  的大气窗口，是制备短波红外探测器的合适材料<sup>[3]</sup>。因此铟镓砷探测器是小型化、低成本和高可靠性的短波红外探测系统的最佳选择之一。其次其量子效率高，电子迁移率高，响应快，非常有利于提高获取图像的帧率。为了更大程度上提高帧频与成像距离，本系统选用了  $320\times256$  的铟镓砷探测器，镜头焦距为  $300\text{ mm}$ 。图 1 所示为我们使用的铟镓砷相机<sup>[4-6]</sup>。



图 1 铟镓砷相机结构  
Fig.1 InGaAs camera structure

1.2 照明系统

照明系统是整個成像系統的关键。由于系統的设计本身是要解决远距离的照明问题，这里我们使用激光器作为照明光源。但激光器本身的问题不容忽视，激光散斑与照度不均匀问题很大程度上决定了成像的质量，图 2 为我们使用的激光器。

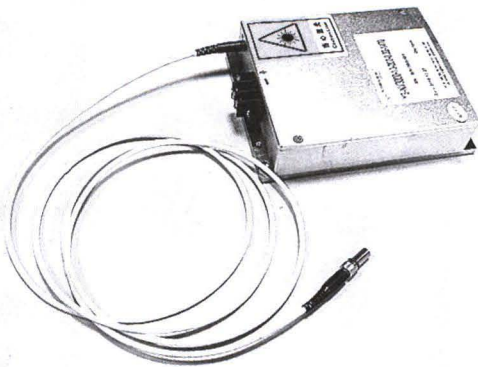


图 2 激光器设备  
Fig.2 Laser equipment

它采用多个光纤耦合半导体合束构成，激光在光纤内部充分叠加干涉，有效抑制了激光散斑，消除单个光纤耦合半导体激光器输出容易出现的光斑能量分布不均匀问题，为成像系统提供一个照度均匀的照明设备，同时该激光器的大功率输出以及波长范围保证了照明的亮度与距离。

1.3 方案描述

为了保证高速的视频采集与传输效果，我们使用 FPGA 驱动模数转换与数据传输模块总体方案如图 3 所示（图中双向箭头表示模块间的通信机制为全双工）。

由于探测器获得的电信号非常微弱，我们需要在数据采集端进行电流-电压转换，然后进行模数转换，为确保采样精度，采用了 16 位 AD 芯片的模数转化模块，并选择集成放大与转换于一体的模数转换芯片，以精简电路设计，减少故障率。

为了提高图像帧频，我们采用 FPGA 作为时序控制模块，以此来驱动 AD 模块与 USB 芯片<sup>[7-10]</sup>，同时为保证最大程度上减少 FPGA 负荷，提升系统帧频速率，确保不遗漏视觉信息，我们只将 FPGA 作为图像采集与为 USB 提供驱动时序使用，而将图像预处理及校正交留性能更为强大的计算机处理，以此来实现高频传输，在我们所实现的系统里可实现帧频最大 50 Hz 视频传输。

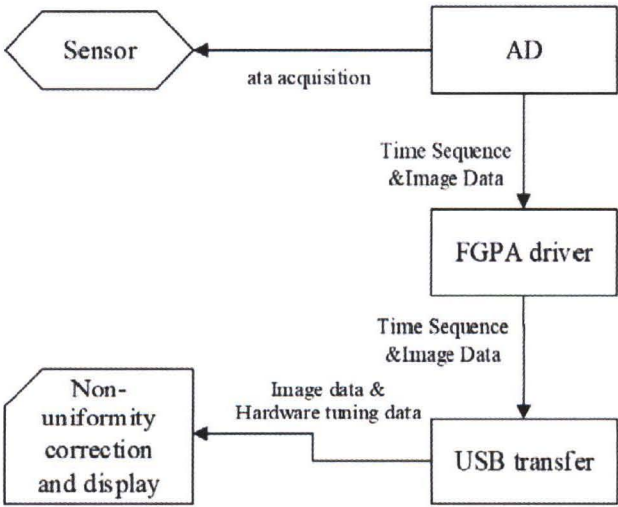


图 3 系统实现  
Fig 3 System framework

为了满足高频传输特性，我们选用 USB 作为数据传输核心模块。我们设计的传输模块以 480 Mbps 速率工作，其传输速率配合并行 FIFO 接口的数据传输方式，使得数据传输速度高达 40 Mbytes/s，确保帧频的最大可靠传输速率达到 50 Hz。

获得高帧频图像后，图像的显示与预处理也是非常重要的。因为红外感光元件本身的物理特性，使得最初获得的红外图像带有明显的噪点或者其他条纹噪声，以至于初始图像难以作为信息源。我们在显示方案上使用的上位机程序，由 MFC 配合 OpencV 编写，实现实时获得并显示图像，并且在显示之前采用单点校正以及两点校正等非均匀性校正算法，进而可以获得效果更为清晰，信息更为丰富



的图像数据。图 4 为接收图像程序界面，我们将校正算法内嵌于程序之中，无需再手动处理，在该程序中我们实现多种帧频模式的视频接收，通过此程序可根据不同帧频调节积分时间，以保证探测器在夜间不会致盲。

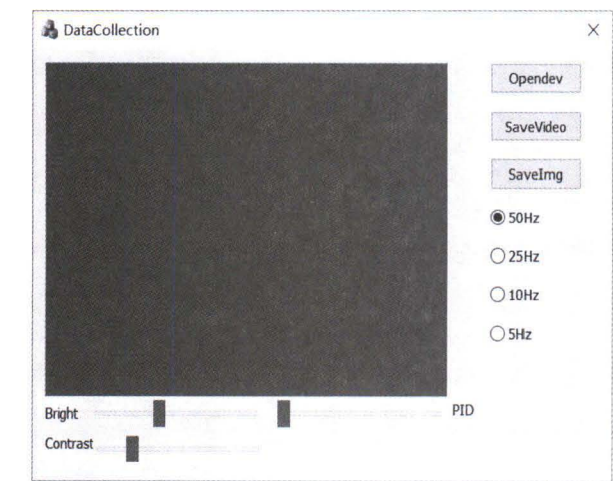


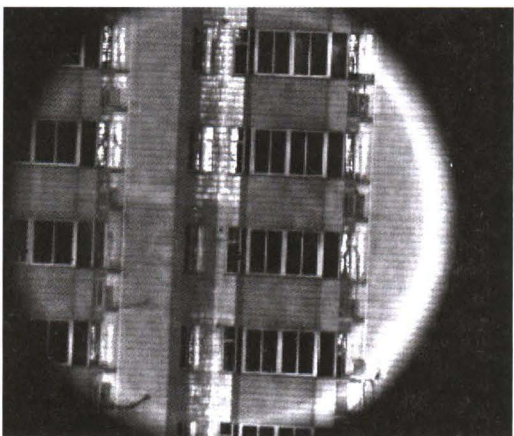
图 4 图像接收校正与现实程序

Fig.4 Image receiving and correction, display program



(a) 594.5 m 无照明夜间景象

(a) Image data without illumination from 594.5 m



(b) 1550 nm 激光在 594.5 m 处的照明数据

(b)1550 nm laser illumination data at 594.5 m



(c) 3100 m 无照明景象

(c) Image data without illumination from 3100 m



(d) 1550 nm 激光在 3100 m 处照明数据

(d)1550 nm laser illumination data at 3100 m

图 5 无照明与 1550 nm 波长激光照明图像

Fig.5 No illumination images and 1550 nm wavelength laser illumination images

我们认为当数据采集与显示部分完成以后，配合照明光源的调整，会获得一个比较不错的图像效果，甚至能够获得相当远的位置的图像数据。

2 实验效果

作为对比，实验中我们收集了两组数据，分别是有照明图像和无照明图像，如图 5。

图(a)、(b)为在 594.5 m 距离处采集的图像，其中在图(a)中，我们直观地看到只有寥寥几盏灯光，图像中除了灯光之外，已经很难从图像中获取其他视觉信息，图(b)使用的是 1550 nm 激光照明设备，光斑内我们清晰地看到楼房的窗户处空调外机外部结构特征。为了获取大视场图像，我们将光斑直径调大（如图 6 所示）。当光斑直径调大后，光照度更加均匀，视野也相对宽广，并且没有影响图片的信息质量。我们还进行了更远距离的实验，图 5(c)在 3100 m 处的背景楼房已经只剩依稀的外围轮廓，图 5(d)为有照明设备的图像，可清楚地看到楼房的窗户。





图 6 1550 nm 激光在 594.5 m 处大直径照明数据

Fig.6 F1550 nm large diameter laser beam illumination data  
594.5 m

系统实现过程中我们发现，激光照明可以实现 3000 m 以内视觉增强，但当距离过远之后，光束相对变窄，由于光在空气中的散射作用而产生的丁达尔效应，且波长越短丁达尔效应越严重，会严重阻碍前方视觉信息的获取，因此该系统的适用范围不是无穷远，在保证图像质量的前提下，我们实现了对 3100 m 处夜间视觉信息采集。系统设计上我们设计了焦距为 300 mm 的长焦短波镜头，以及高达 50 Hz 的视频采集系统，确保在视场范围以内不丢视觉信息，最大限度地满足远距离视觉信息获取和夜间侦察的需求。

### 3 结语

夜间视觉在军事领域的诉求极为广泛，红外短波成像配合激光照明系统可以提供更远、更为清晰的夜间视觉数据，且由于使用的是红外波段的激光照明，其隐蔽性也是一大亮点。实验中我们验证了方案的可行性，解决了夜间远距离视觉信息的获取问题，实现了 594.5~3100 m 的距离测试，获得图像非常清晰，相比没有照明的情况，获得的视觉信息更加丰富，肉眼可以清楚地分辨出景物的外貌。

### 参考文献：

[1] 高新江, 张秀川, 唐遵烈, 等. 320×256 InGaAs 短波红外焦平面阵列探测器[J]. 半导体光电, 2009(2):178-182.  
GAO Xinjiang, ZHANG Xiuchuan, TANG Zunlie, et al. 320×256 InGaAs short wave infrared focal plane arrays detector[J]. *Semiconductor*

*Optoelectronics*, 2009(2):178-182.  
[2] 曹扬, 金伟其, 王霞, 等. 短波红外焦平面探测器及其应用进展[J]. 红外技术, 2009(2): 63-68.  
CAO Yang, JIN Weiqi, WANG Xia, et al. Development in shortwave infrared focal plane array and application[J]. *Infrared Technology*, 2009(2): 63-68.  
[3] Han C J, Rawlings R, Sweeney M. 320×240 and 640×480 UFPAs for TWS and DVE applications[C]//*Proceedings of SPIE*, 2005: 559-565.  
[4] 陈洪钧, 周航宇. InGaAs 可见/短波红外焦平面探测器新进展[J]. 红外与激光工程, 2007(4): 431-434.  
CHEN Hongjun, ZHOU Hangyu. Recent progresses in InGaAs visible/short wavelength infrared focal plane array detectors[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2007(4): 431-434.  
[5] 朱耀明, 李永富, 李雪, 等. 基于 N-on-P 结构的背照射延伸波长 640×1 线列 InGaAs 探测器[J]. 红外与毫米波学报, 2012(1): 11.  
ZHU Yaoming, LI Yongfu, LI Xue, et al. Extended-wavelength 640×1 linear InGaAs detector arrays using N-on-P configuration for back illumination[J]. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 2012(1): 11.  
[6] 刘军华, 高新江, 周勋. 短波红外 InGaAs 焦平面探测器的技术进展[J]. 半导体光电, 2015(5): 683-688.  
LIU Junhua, GAO Xinjiang, ZHOU Xun. Developments and perspectives of SWIR InGaAs focal plane arrays[J]. *Semiconductor Optoelectronics*, 2015(5): 683-688.  
[7] 郭永彩, 苏渝维, 高潮. 基于 FPGA 的红外图像实时采集系统设计与实现[J]. 仪器仪表学报, 2011(3): 514-519.  
GUO Yongcia, SU Yuwei, GAO Chao. Design and implementation of real time infrared image collection system based on FPGA[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2011(3): 514-519.  
[8] 刘虹, 黄涛. 基于 FPGA 的高速图像采集系统的研究与实现[J]. 工业控制计算机, 2004(8): 18-19.  
LIU Hong, HUANG Tao. The design and realization of the high-speed image sampling system based on FPGA[J]. *Industrial Control Computer*, 2004(8): 18-19.  
[9] 赵汉青, 郎宝华. 基于 FPGA 的灰度图像采集系统设计[J]. 计算机与数字工程, 2016(3): 533-537.  
ZHAO Hanqing, LANG Baohua. Design of gray image acquisition system based on FPGA [J]. *Computer and Digital Engineering*, 2016(3): 533-537.  
[10] Saegusa T, Maruyama T, Yamaguchi Y. How fast is an FPGA in image processing[R]. IEICE Technical Report, 2008: 77-82.