

基于红外目标提取的夜视图像融合实时系统研究

胡德超, 朱尤攀, 罗琳, 李泽民, 范宏波, 孙爱平, 苏凡, 韩娟
(昆明物理研究所, 云南 昆明 650223)

摘要: 研究的图像融合技术是以微光图像作为背景, 红外图像作为目标, 两光路图像经过合光棱镜进行光学投影融合的实时融合技术。为了具备良好的融合效果, 红外图像经过预处理后, 用改进的 Otsu 算法进行图像分割来实现目标提取, 提取后的红外目标经过改进的伪彩色变换方法进行处理后在 OLED 上显示。融合后的系统实时性好, 既可以得到微光细节丰富、较接近可见光视觉感受的背景, 也可得到对比度明显的红外伪彩色目标, 对于战场上的士兵观察环境和快速寻找目标有很大的帮助。

关键词: 红外图像; 微光图像; 伪彩色处理; 图像融合; 目标提取; Otsu 算法

中图分类号: TP751 文献标识码: A 文章编号: 1001-8891(2014)02-0125-06

Research of Real-time Night-Vision Image Fusion System Based on Infrared Object Extraction

HU De-chao, ZHU You-pan, LUO Lin, LI Ze-min, FAN Hong-bo, SUN Ai-ping, SU Fan, HAN Juan
(Kunming Institute of Physics, Kunming 650223, China)

Abstract: In this paper image fusion technology researched is optical overlay real-time fusion technology, in which low-level-light image is as background, infrared image is as object, and image from double optical path is through prism to fusion. For good fusion performance, infrared image is preprocessed, and then an improved Otsu algorithm is used in the process of image segmentation for object extraction. An improved pseudo-color process is used in the process of infrared object and at last the infrared object pseudo-color image is shown on the OLED. The fusion system is real-time, whose image's background has more details and is similar to visible light, and high contrast pseudo-color object is distinct, which can help the soldier in the battlefield to observe the surroundings and to fast look for object.

Key words: infrared image, low-level-light image, pseudo-color process, image fusion, object extraction, Otsu arithmetic

0 引言

目前, 国际国内常用的夜视技术主要有红外和微光 2 种被动观察方式。两种方式各有优缺点, 红外观察的作用距离远、可以全天候工作、具备穿透烟雾的能力、对于温差比较敏感等, 但是对于温差很小的景物识别能力不足, 视图和可见光的差别较大。微光观察的作用距离近, 成像效果会受光照条件影响, 但是图像细节较好, 接近可见光的视觉感受, 对于温差很小的景物可以通过景物的反射光进行很好的识别。对二者的视图进行融合可以优势互补, 得到更多的图像信息量, 达到更好的视觉效果。

红外与微光的夜视图像融合系统分为双通道数字图像融合和光学投影融合 2 种方式。双通道数字图

像融合方式要求红外和微光的 2 幅图像均为数字图像, 经过融合电路输出 1 幅融合后的图像进行显示, 往往算法复杂, 导致功耗高, 实时性难以保证, 适用于车载和机载, 不适用于单兵装备; 光学投影融合方式则分别显示微光图像和红外图像(红外图像经过电子处理后突出目标), 2 幅图像通过合光棱镜进行光学投影融合, 功耗低、实时性和便携性好, 适合于单兵装备, 但是较难得到理想的融合图像。本文研究的主要目的是找到一种适合单兵装备, 具备实时性、低功耗和低成本等特点, 且融合效果较佳的红外与微光图像融合的便携式夜晚观察系统。考虑实时性和便携性, 采用光学投影的方式进行 2 幅夜视图像的融合, 并在红外图像的成像上进行处理, 以得到较好的融合图像。

收稿日期: 2013-04-01; 修订日期: 2013-10-18.

作者简介: 胡德超(1982-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为热成像光电系统工程。

1 系统的总体设计

图1是融合过程示意图。图1中,红外通道的非制冷红外探测器接受到外部景物的红外光线,经过处理后生成数字灰度图像,进入接下来的后续处理电路中,进行预处理和目标提取,然后把灰度图像进行伪彩色处理后输出到OLED显示器上进行彩色显示,OLED显示器显示的图像最后经过合光棱镜投影在目镜上。微光通道的微光像增强管接收到外部同一景物的光线,进行光子能量放大后输出,经过合光棱镜投影在目镜上。这样,双通道的图像经过光学投影,实现了图像融合^[1]。图1中虚线表示光路,实线表示电信号。

图2是基于FPGA的红外图像数字信号处理的各模块之间的关系图。考虑夜视仪需要的便携性,增加便携式电源,通过电源板进行电源滤波和电压转换,对红外图像处理板、非制冷红外探测器和OLED等主要部件进行供电。非制冷红外探测器输出的数字灰度图像信号,经过红外图像处理板中的算法进行预处理、目标提取以及伪彩色变换,最终输出到OLED上显示出高亮度和高对比度的伪彩色图像。通过外围的控制面板可以调节OLED的亮度和对比度,也可以调试不同算法的伪彩色显示方式,增加系统的灵活性,以适应不同的人员观察。

2 红外通道的数字图像信号处理

从非制冷红外探测器输出的信号,经过预处理后可以得到图像质量满足要求的红外图像。由系统设计可知,需要对红外图像进行目标提取和伪彩色变换,使融合图像更加突出和明显,避免信息的重叠和混乱。

2.1 目标提取

目标提取是指单幅图像或者序列图像中将感兴趣的目标与背景分割开来,从图像中识别和解释有意

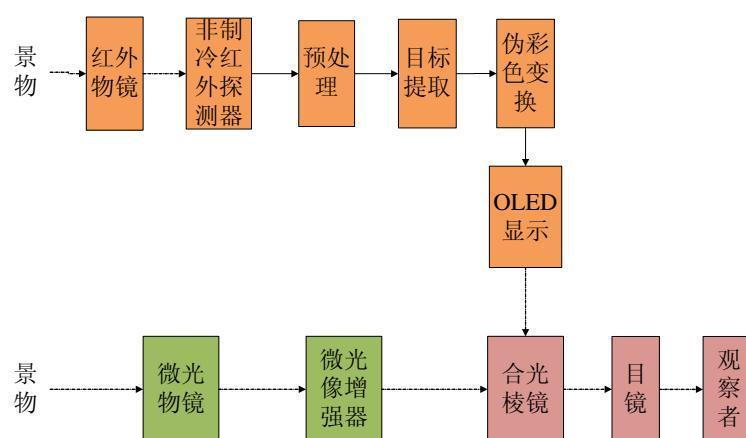


图1 融合过程示意图 Fig.1 Diagram of fusion process

义的物体实体而提取不同的图像特征的操作。

图像分割是将整幅图像分割成若干个具有相同特性(如灰度、颜色、纹理等)但是又不重叠的区域并提取感兴趣目标的技术和过程,它是图像理解到图像分析的关键步骤,是一种基本的计算机视觉技术。只有在图像分割基础上才能对目标进行提取和参数测量,使得更高层次的图像分析和理解成为可能^[2]。

用来进行目标提取的图像分割方法中,应用阈值目标分割的方法是目前应用最多的方法。

阈值分割法是一种传统的图像分割方法,因其实现简单、计算量小、性能较稳定而成为图像分割中最基本和应用最广泛的分割技术。阈值分割法的基本原理是:通过设定不同的特征阈值,把图像像素点分为具有不同灰度级的目标区域和背景区域的若干类。它特别适用于目标和背景占据不同灰度级范围的图像,已被应用于很多领域,其中阈值的选取是图像阈值分割方法中的关键技术。从其发展历程上来看主要有Otsu提出的最大类间方差法^[3],它被认为是阈值分割中的经典算法。

由于常用的目标分割是分割成二值图像,对于分割后的图像的灰度不关心,只要求对目标形状的提取,大于阈值的就把灰度设置成1(进行归一化后的值),小于灰度阈值的则设置成0。分割后的图像 $g(x,y)$ 由下式给出:

$$g(x,y) = \begin{cases} 1, & f(x,y) > T \\ 0, & g(x,y) \leq T \end{cases} \quad (1)$$

式中: $f(x,y)$ 是所需进行图像分割的图像的灰度值; $g(x,y)$ 为完成图像分割后的图像灰度值; T 为把图像分割开的灰度阈值,当 T 是适用于整个图像时,该公式给出的处理称为全局阈值处理,当物体和背景像素的灰度分布十分明显时,可以用适用于整个图像的单个(全局阈值)^[4]。

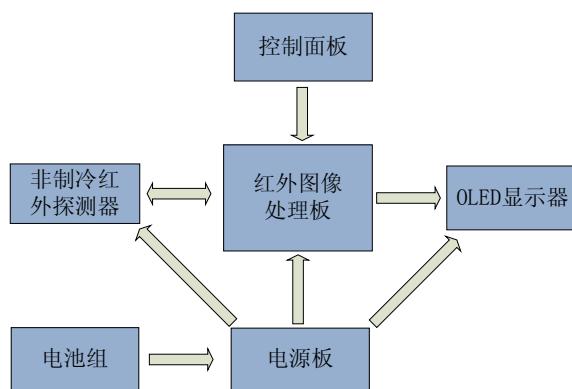


图2 红外通道各模块的关系图

Fig.2 Diagram of infrared passage

而在微光与红外的图像融合中, 提取出来的红外目标如果只是一个灰度的话, 难以对于目标的特点和局部特征进行识别, 导致信息量的丢失。

所以本文的目标提取方法不是简单的二值分割, 而是利用红外图像中的红外热目标的灰度值总是高于背景区域的特点, 设定全局阈值进行分割, 高于全局阈值的为红外目标图像, 完全保留目标的灰度信息, 低于全局阈值的为背景, 进行剔除。这样, 目标的灰度信息得以完全的保留, 以提高目标的识别度。由于该系统是适用于目标温度高于背景温度的夜晚场景, 对应于热像仪的灰度图像, 则是目标的灰度值高于环境的灰度值。设输入图像的分辨率为 $M \times N$, 图像的横坐标为 m ($1 \leq m \leq M$), 纵坐标为 n ($1 \leq n \leq N$), 红外图像信号为 $f_2(m, n)$, T 为图像灰度的目标提取阈值。则红外目标图像的灰度信息为下式所示:

$$I_2(m, n) = \begin{cases} 0, & f_2(m, n) < T \\ f_2(m, n), & f_2(m, n) \geq T \end{cases} \quad (2)$$

灰度信息完整的目标, 经过伪彩色变换后就可以得到色彩丰富的目标, 而不是单色的目标, 可以很好的识别目标及判断目标的状态及局部。该图像分割方法的难点在于对全局阈值的选取, 因为目标的温度会随着室外的温度改变而在一定的范围内波动, 所以本文需要采取自适应的全局阈值选取方法。Otsu 算法是经过实践证明了的, 能得到很好结果的阈值提取方法, 所以本文采用改进的 Otsu 算法。

Otsu 算法^[3], 即最大类间方差法, 是由日本人大津首先提出来的, 又称为大津阈值分割法, 是在判断分析最小二乘法原理的基础上推导得到的。按照图像的灰度特性, 将图像分成背景和目标 2 部分。背景和目标之间的类间方差越大, 说明构成图像的两部分的差别越大, 部分目标错分为背景或部分背景错分为目

标都会导致两部分差别变小。因此, 使类间方差最大的分割意味着错分概率最小。Otsu 的基本思想是利用一幅图像的灰度直方图, 依据类间距离极大准则来确定区域分割门限。该方法的基本原理如下。

设图像有 L 个灰度级, 灰度值是 i 的像素数为 n_i , 则总的像素数是 $N = \sum_{i=0}^{L-1} n_i$, 各灰度值出现的概率为 $p_i = n_i/N$, 显然 $p_i \geq 0$, 且 $\sum_{i=0}^{L-1} p_i = 1$ 。设以灰度 t 为门限

将图像分割成两个区域: 灰度级为 $0 \sim t$ 的像素区域为 A (背景类), 灰度级为 $(t+1) \sim (L-1)$ 的像素区域为 B (目标类)。 A 、 B 出现的概率分别为:

$$p_A = \sum_{i=0}^t p_i \quad (3)$$

$$p_B = \sum_{i=t+1}^{L-1} p_i = 1 - p_A \quad (4)$$

A 和 B 两类的灰度均值分别为:

$$\omega_A = \sum_{i=0}^t i p_i / p_A \quad (5)$$

$$\omega_B = \sum_{i=t+1}^{L-1} i p_i / p_B \quad (6)$$

图像总的灰度均值为:

$$\omega_0 = p_A \omega_A + p_B \omega_B = \sum_{i=0}^{L-1} i p_i \quad (7)$$

由此可以得到 A 、 B 两区域的类间方差为:

$$\sigma^2 = p_A (\omega_A - \omega_0)^2 + p_B (\omega_B - \omega_0)^2 \quad (8)$$

显然, p_A 、 p_B 、 ω_A 、 ω_B 、 ω_0 、 σ^2 都是关于灰度级 t 的函数。

为了得到最优分割阈值, Otsu 把两类的类间方差作为判别准则, 认为使得 σ^2 值最大的 t 即为所求的最佳阈值:

$$t' = \text{ArgMax}[p_A (\omega_A - \omega_B)^2 + p_B (\omega_B - \omega_0)^2] \quad (9)$$

因为方差是灰度分布均匀性的一种度量, 方差越大, 说明构成图像的两部分差别越大, 将部分目标错判为背景或是部分背景错判为目标都会导致两部分差别变小。因此, 使类间方差最大意味着错分概率最小, 这就是 Otsu 准则。Otsu 算法还存在着许多缺点, 如运行时间长 (要对图像的每一级灰度进行计算)^[5]。

考虑到实时性的要求, 必须对 Otsu 进行算法优化, 本文提出一种变步长迭代的 Otsu 算法进行阈值选取。针对 Otsu 算法复杂的这个缺点, 本文根据感兴趣的红外目标温度相对可知, 首先限定阈值的范围, 并通过自动光学聚焦中的粗调和微调的思想来变

换迭代步长, 完成对 Otsu 算法的改进和优化。

本文系统的灰度级范围在 0~255 之间, 根据大量试验可以得到人员或者车辆的灰度下限在 102~151 的范围之间, 这一步可以直接设置, 缩小搜索范围。把 102~151 之间共 50 个灰度级均分为 5 个部分, 步长为 10 进行搜索, 5 个部分分别为: $[t_{1\min}, t_{1\max}]$, $[t_{2\min}, t_{2\max}]$, $[t_{3\min}, t_{3\max}]$, $[t_{4\min}, t_{4\max}]$, $[t_{5\min}, t_{5\max}]$ 。

分别计算 $t_{1\min}$ 、 $t_{2\min}$ 、 $t_{3\min}$ 、 $t_{4\min}$ 、 $t_{5\min}$ 、 $t_{5\max}$ 为阈值时的 σ^2 , 取 σ^2 最大时的阈值为第 1 次迭代计算后的阈值, 设为 t_0 , 完成粗调。

在阈值附近变步长为 1, 取阈值 t_0 及左右区间各 5 个单位, 共 11 个单位 ($t_0-5, t_0-4, t_0-3, t_0-2, t_0-1, t_0, t_0+1, t_0+2, t_0+3, t_0+4, t_0+5$) 进行第 2 次迭代计算, 根据计算出来的 σ^2 , 取 σ^2 最大时的阈值为最终迭代计算后的阈值 t' , 微调完成, t' 即为最佳的图像分割阈值; 可以看到, 改进后的 Otsu 算法只进行了 2 次迭代计算。比之一般的 Otsu 算法需要进行 10 次以上的迭代计算才能得到优化结果, 计算量减少了几个数量级。因为算法的简化, 使系统的功耗得到降低, 实时性得到了保证。使 Otsu 算法能在不复杂的电路结构下得到实际的工程应用, 减小系统的体积, 实现便携。把得到的最佳图像分割阈值 t' , 代入式(2)则可以完成自动阈值目标提取。

本文的优化算法根据试验进行初步范围限定, 并采用了自动光学聚焦中的粗调和微调的思想结合 Otsu 算法进行阈值选取。

图 3 为夜晚未经过处理的红外图像, 图像极性为白热, 高温图像的灰度值较大, 低温图像的灰度值较小。图 4 为经过目标提取后的红外目标, 从图中可以看出, 近处和远处的人员、远处的灯等高温目标均得到提取, 其余背景剔除。实验结果表明, 该自动阈值



图 3 原红外图像

Fig.3 Original infrared image

选取方法得到的图像分割结果很好, 并保证了目标提取的实时性。如果碰到丢失目标的情况, 可以增大灰度值的搜索区间。

2.2 伪彩色处理

在现有融合图像质量没有标准的客观评价方法的情况下, 融合图像要以适合人眼的方式提供给其最终用户——人。而人眼在灰度图像中只能同时区分出由黑到白的 20 多种不同的灰度级, 人眼对彩色的色调和强度的分辨率则可达到几千种^[4]。相对于灰度信息, 人眼可以更快、更准确地识别出经过彩色编码的信息。

伪彩色处理技术可以把灰度信号变成更易识别的伪彩色信号。伪彩色处理技术的实现方法有多种, 如灰度分割法、灰度级——彩色变换法、滤波法等等。其中灰度级——彩色变换法是将来自成像传感器的灰度图像, 经过不同的函数变换关系, 对应地得到 3 个不同特征的 R、G、B 三基色的亮度信号, 然后将 R、G、B 的亮度信号送到彩色显示器进行三基色配色显示的技术。

在本文中采用基于 RGB 色空间的伪彩色色彩处理, 因为任何图像的彩色处理最终都将归结为 RGB 色空间的转换, 直接在 RGB 色空间的伪彩色处理的最大特点就是计算简单、速度快、便于硬件实现、实时处理相对容易。

本文研究的数字图像信号是宽度为 8 位的灰度图像, 共有 256 个灰阶。把灰度信号变成操作人员更能识别的伪彩色信号。根据式(10), 可以由已知的灰度信号得到相应的 R、G、B 三基色的亮度信号。其中 x, y 代表像素的坐标, $f(x, y)$ 代表坐标点 (x, y) 所对应像素的灰度值 (也就是亮度), TR 代表把灰度值变成红色的亮度的函数关系, TG 代表把灰度值变成

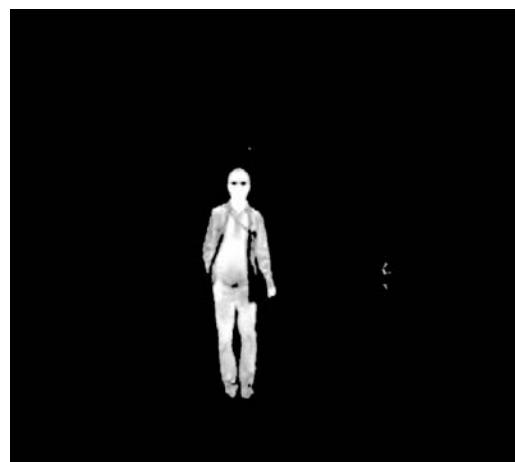


图 4 目标提取后的红外图像

Fig.4 Infrared image of object extraction

绿色的亮度的函数关系, TB 代表把灰度值变换成蓝色的亮度的函数关系。 $R(x,y)$ 、 $G(x,y)$ 、 $B(x,y)$ 分别代表 (x,y) 所对应的红、绿、蓝三色的亮度值^[4]。

$$\left. \begin{array}{l} R(x,y) = TR\{f(x,y)\} \\ G(x,y) = TG\{f(x,y)\} \\ B(x,y) = TB\{f(x,y)\} \end{array} \right\} \quad (10)$$

图 5 为本文提出的伪彩色变换函数曲线, 具体的 R 、 G 、 B 三通道亮度值与原灰度图像灰度级的亮度值对应的函数关系如下式所示:

$$\left. \begin{array}{l} R(x,y) = \begin{cases} 0 & \leq f(x,y) \leq 127 \\ 2f(x,y) - 256 & 128 \leq f(x,y) \leq 223 \\ 255 & 224 \leq f(x,y) \leq 255 \end{cases} \\ G(x,y) = \begin{cases} 2f(x,y) & 0 \leq f(x,y) \leq 127 \\ 255 & 128 \leq f(x,y) \leq 159 \\ 1534 - 8f(x,y) & 160 \leq f(x,y) \leq 191 \\ 0 & 192 \leq f(x,y) \leq 255 \end{cases} \\ B(x,y) = \begin{cases} 254 - 2f(x,y) & 0 \leq f(x,y) \leq 127 \\ 0 & 128 \leq f(x,y) \leq 191 \\ 4f(x,y) - 768 & 192 \leq f(x,y) \leq 255 \end{cases} \end{array} \right\} \quad (11)$$

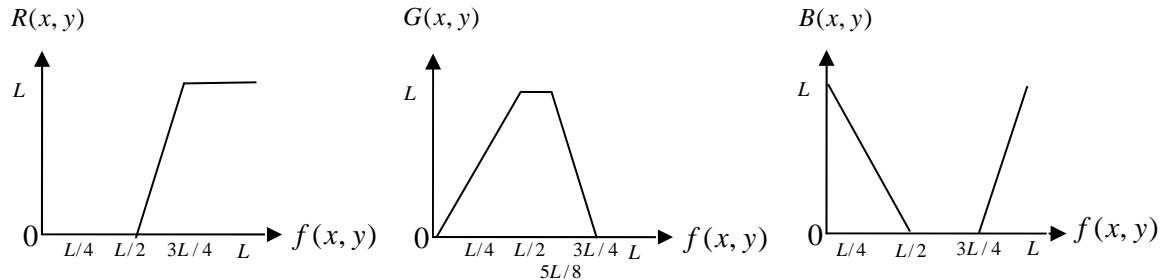


图 5 伪彩色变换函数曲线

Fig.5 Curves of the transformation function of pseudo-color



图 6 原灰度图像

Fig.6 Original gray image

图 6 为原灰度图像, 图 7 为经过本文伪彩色方法变换后得到的伪彩色图像。

图 8 为本系统最后得到的融合图像 1, 是经过本文提出的伪彩色编码变换后的红外目标图像和微光背景图像融合后的图像。可以看到, 图 8 的色彩过渡自然, 红外目标和微光背景很好地结合, 适合人眼的视觉感受, 观看比较舒适。

3 图像配准与融合

3.1 图像配准

为了保证图像的配准, 首先通过光学和结构设计保证双光路视场的配准。通过光学设计, 保证红外和微光的视场匹配, 并消除图像畸变和像差, 在结构设计上进行精度控制, 保证两通道的视场配准。

光学和结构设计完成后, 以微光图像为基准, 通过电子处理调整红外图像与之进行逐像素的配准, 消除“重影”, 达到配准的要求。

3.2 图像融合

本文研究的融合方法是在微光的背景上光学投影上红外目标 (人或者车辆等高温危险目标), 经过目标提取的红外目标图像叠加在微光背景上, 如图 9 所示。

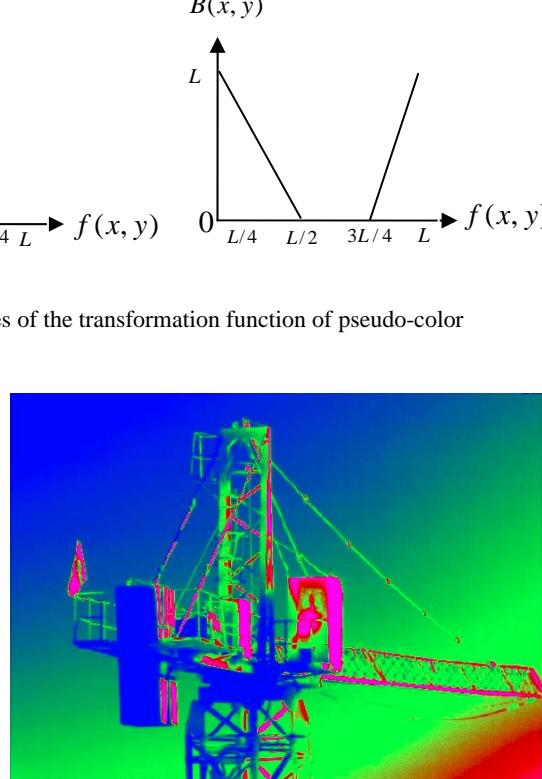


图 7 伪彩色图像

Fig.7 Pseudo-color image



图 8 融合图像 1 Fig.8 Fusion image No.1

设输入图像的分辨率为 $M \times N$, 图像的横坐标为 $m(1 \leq m \leq M)$, 纵坐标为 $n(1 \leq n \leq N)$, 微光图像在点 (m, n) 处的图像信号为 $I_1(m, n)$, 红外图像经过目标提取后的图像信号为 $I_2(m, n)$, 融合后的图像信号为 $I(m, n)$ 。则融合算法为式(12)所示。

$$I(m, n) = I_1(m, n) + I_2(m, n) \quad (12)$$

红外图像的目标图像信息如式(2)所示。综合式(12)和式(2)式可得到式(13), 即为本文融合算法。

$$I(m, n) = \begin{cases} I_1(m, n), & f_2(m, n) < T \\ I_1(m, n) + f_2(m, n), & f_2(m, n) \geq T \end{cases} \quad (13)$$

式中: f_2 为红外图像的灰度信号。

根据本文融合算法的红外与微光图像融合系统已设计完成, 科研样机如图 10 所示, 样机体积小, 实现了系统的便携性; 经试验验证, 系统的实时性较好, 能满足于工程应用。科研样机的融合图像如图 8 所示, 从图中可以看到, 红外目标得到很好的提取, 微光和红外图像过渡自然, 融合后的图像质量很好, 满足研究预期。

4 总结

本文通过红外目标提取及伪彩色处理的方式来对红外图像信息进行处理, 经过处理后的红外图像与微光图像通过光学投影的方式融合, 在保证较佳系统性能的同时, 减少了前期处理数据的一半数据量, 也减少了图像融合算法的大量数据处理, 从而使系统的



图 9 融合图像 2 Fig.9 Fusion image No.2

实时性得到保证, 功耗和体积也得到降低。本文提出实时性好且效果较佳的伪彩色变换方法, 及改进的 Otsu 算法, 综合考虑的系统设计使红外与微光的图像融合技术具备工程实用性。



图 10 融合样机

Fig.10 Fusion device

参考文献:

- [1] 孙爱平, 皮冬明, 安长亮, 等. 光机装校阶段红外与可见光图像配准技术研究[J]. 红外技术, 2013, 35(1): 50-55.
- [2] 赵钦佩, 姚莉秀, 刘瑞明, 等. 一种新的基于背景的红外图像分割方法[J]. 计算机仿真, 2007, 24(5): 202.
- [3] Otsu N. A Threshold selection method from gray level histogram[J]. *IEEE Trans on System Man and Cybernetics*, 1979, 9(1): 62-66.
- [4] Rafael C.Gonzalez, Richard E.Woods. 数字图像处理[M]. 3 版. 阮秋琦, 阮宇智, 等, 译. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [5] 王璐. 基于 MATLAB 的车牌识别系统研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2009.