

红外图像目标环境生成技术研究*

余农 吴常泳 汤心溢 李范鸣

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

摘要 研究了图像环境生成过程中红外目标特征信息提取所面临的重要技术问题, 提出了自适应背景感知与对消处理、抑制背景的自动门限选取和形状分析与目标特征识别的层次化数据处理流程. 基于数学形态学理论实现了图像背景感知的应用研究算法. 实验测评表明, 该算法对复杂变化的图像环境具有良好的滤波性能和稳健的适应能力.

关键词 红外技术, 图像分析, 目标环境, 景像合成.

APPROACH TO CREATION OF TARGET AND ENVIRONMENT IN INFRARED IMAGE*

YU Nong WU Chang-Yong TANG Xin-Yi LI Fan-Ming

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract Key issues about extraction of target character in creation of IR image environment is studied. It presents a multi-stage data flow that consists of three level functional modules, which are adaptive background perception and subtracting operation, selection of automatic threshold used for clutter suppression, shape analyzing and target character recognition. A morphology-based data processing approach proposed in this paper is applied to background estimation. Experimental results show that the method is able to provide good filtering results and robust adaptability to image environment with clutter background.

Key words IR technique, image analysis, target and environment, scene synthesis.

引言

红外自动目标识别与成像跟踪系统的研制方面面临多项技术难题, 其中之一就是红外图像的数据源问题常常困扰和制约其有效发展. 或是使用不完善的实际图像, 或是采用不切实际的仿真图像, 受其影响便无法检验系统的性能发现存在的问题, 从而给系统研制工作带来种种隐患. 在成像过程中, 由于目标和背景的红外辐射特性与视场的选取、太阳入射角、天气、季节、昼夜、云层、环境等诸多因素有关, 且各种目标的距离位置、运动状态等都是不可控的, 随机因素甚大. 因此少量的实验图像不具有完整的代表性且复杂程度不够, 而虚拟的仿真图像更难以实现如此丰富和逼真的视景效果. 为此, 采用实际研制的红外成像系统在拍摄大量真实的红外图像数据基

础上, 进一步分析红外目标、背景的模式特征与时空参数, 建立相应的红外图像表征模型, 充分运用图像处理和多媒体技术进行各种复杂环境下的景像重建是完全必要和切实可行的.

1 目标特征信息提取

红外目标特征信息的提取过程实质上就是典型的图像分割与检测技术的具体实施过程. 根据相关的理论研究成果和自身的工作实践积累^[1,2], 本文提出一种基于动态图像帧间相关信息融合的红外自动目标提取算法(如图1所示). 它主要有为3个环节:(1)自适应背景感知与对消处理(采用形态滤波算法可感知图像背景的空间起伏特性, 通过差分运算进行对消处理, 可抑制背景特性而突出目标特征);(2)抑制背景的自动门限选取(根据系统优化

*上海市科技发展基金和上海市博士后科研基金资助项目
稿件收到日期 2002-09-02, 修改稿收到日期 2003-04-21

*The project supported by the Shanghai Scientific Technology Development Foundation and the Shanghai Post-Doctoral Research Foundation
Received 2002-09-02, revised 2003-04-21



图1 自动提取图像目标的层次化数据流程
Fig. 1 Data flowchart for automatic extraction of image targets

理论,以反映聚类特性的能量函数极小化来实现对目标特征的最优化提取);(3)形状分析与目标特征识别(对提取的图像目标特征进行结构分析和识别检验,运用的生物视觉依据包括目标区域的拓扑连通性、轮廓的封闭性和强度分布的自相似性)。

2 自适应背景感知

自适应背景感知技术侧重于红外目标、背景的空间分布特性研究,通过背景感知与背景抑制来改善目标/背景的信噪比,以达到提高检测率和降低虚警率的双重目的.这与人类视觉的对比感知原理相吻合^[6],也是提高红外弱目标检测技术的一条可靠途径。

2.1 形态学背景感知方法

基于数学形态学的目标检测方法是近年来兴起的一种颇为新颖的自适应图像处理技术.利用形态学理论的基本运算关系^[3],通过一系列的变换组合,可构成背景感知的应用处理算法.红外灰度图像所形成的视觉感受主要由光照明度的明暗变化引起的,其目标的显现无外乎2种情形:一是暗背景下衬托出亮目标,二是亮背景下衬托出暗目标.这正好对应于视神经节细胞(Ganglion cells, GC)中的2种主要感受野(on-中心型和 off-中心型)模型^[4],这也是形态滤波算法用于图像背景感知的生理学基础。

设 $F = \{(x, f(x)) | x \in P, f(x) \in G_F\}$ 是输出图像, $B = \{(x, b(x)) | x \in S, b(x) \in G_B\}$ 为结构元素,其中 $F, S \subseteq E^2, G_F, G_B \subseteq R$.那么,利用形态学基本运算中的开、闭滤波操作^[3]对图像背景 $z(x)$ 的感知和

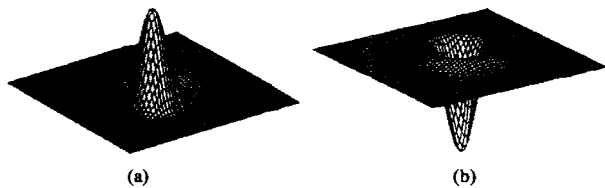


图2 视神经节细胞的两种感受野模型 (a) on-中心型
(b) off-中心型
Fig. 2 Two perceptive field models of visual ganglion cells
(a) on-center (b) off-center

目标特性(亮度反差) $d_{tag}(x)$ 的获取可描述如下:

暗背景(亮目标):

$$\begin{cases} z_{dak}(x) = \min \{ [(f \circ b) \cdot b](x), f(x) \} \\ d_{tagd}(x) = f(x) - z_{dak}(x) \end{cases} \quad (1a)$$

亮背景(暗目标):

$$\begin{cases} z_{brt}(x) = \max \{ [(f \cdot b) \circ b](x), f(x) \} \\ d_{tagb}(x) = z_{brt}(x) - f(x) \end{cases} \quad (1b)$$

对于明、暗背景交织其间的混合景物图像,其目标特性 $d_{tag}(x)$ 可综合表示为:

$$d_{tag}(x) = \max \{ d_{tagd}, d_{tagb} \} \quad (2)$$

式中“ \circ ”表示形态学的开运算,“ \cdot ”表示形态学的闭运算。

由上述表达式不难看出,形态学背景感知方法在构成形式上较为简洁,其操作原理也较为直观.此外,形态滤波处理还具有潜在的便于并行运算的操作特点。

2.2 形态滤波改进算法

通过分析不难发现,形态滤波运算(式(1a))可分解为形态变换和结构元选择两个基本问题.为有效改善滤波性能,可以从改进形态变换和优选结构元两方面入手加以研究.针对红外点源目标及云层背景的时空分布特性,通常可将式(1a)简化为

$$z_{cloud}(x) = (F \circ B)(x). \quad (3)$$

形态变换规则一旦确定,则滤波性能就往往取决于结构元的选择.选择不同的结构元会导致运算对不同几何结构信息的分析和处理,即结构元决定着形态变换的目的和性质^[3].在此,本文提出一种圆环形非凸集结构元^[3](见图3).由于圆形结构在平面域上唯一具有各向同一性,选取这样的结构元,其优点有三:一是具有旋转不变性,无需多个单向结构元进行组合滤波,可同时兼顾多向性结构特征;二

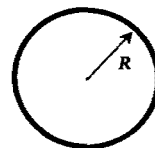


图3 形态滤波的优化结构元
Fig. 3 Optimal structuring element for the morphological filter

是对非凸集(如空洞、非连通)目标结构不敏感;三是形态结构由常规的面阵改为特定的线阵,压缩了数据滤波的遍历空间,使计算强度得以缓解,将有效提高处理速率。

2.3 背景感知实验测评

为了验证比较标准形态滤波算法与改进形态算法在背景感知应用上的实效性,在此采用真实红外图像数据进行相应的实验测评分析。

红外测试图像如图 4(a)所示,图 4(b)是其灰度函数在空间上的三维分布曲面。可以看出,由云层背景和飞机目标组成的实际红外图像中背景的亮度函数具有一定的波动起伏,但主要表现为空间分布上的慢变化,相对于目标的强起伏而言背景的变化特性较为平缓,其频谱成分主要集中在空间频域的低端。背景的自相关性强,具有相对的广义平稳性。为定量描述和表征原始图像和形态学背景感知算法的数据分布特性,对图 4(b)的三维曲面进行了纵向切割,而图 5(a)、图 5(b)正是 2 种滤波算法的输出响应在纵向剖面上的分布曲线。

设红外图像描述模型为^[21]

$$f_k(\mathbf{x}) = s_k(\mathbf{x}) + n_k(\mathbf{x}) \quad (4)$$

其中 $F_k = \{(\mathbf{x}, f_k(\mathbf{x})) | \mathbf{x} \in P, f_k(\mathbf{x}) \in G_f\}$ 是第 k 帧红外图像, $s_k(\mathbf{x})$ 表示图像上 \mathbf{x} 处均值为 S 的目标函数, $n_k(\mathbf{x})$ 表示 \mathbf{x} 处方差为 σ^2 的噪声杂波, $F_k \subseteq E^2, G_f \subseteq R$ 。定义红外图像的信噪比为:

$$SNR = S/\sigma \quad (5)$$

背景感知的最终目的是抑制背景而突出目标信号。为正确评价两种滤波算法的有效性,在此引入图像信噪比增益(Signal Noise Improvement Ratio, SNIR)概念,其计算表达式定义为

表 1 2 种滤波算法的性能测评

Table 1 Performance comparing for two filtering algorithms

性能	标准形态滤波算法	改进形态滤波算法
SNIR	2.936	3.641

$$SNIR = SNR_{out}/SNR_{in} \quad (6)$$

式(6)中 SNR_{in} 和 SNR_{out} 分别表示背景抑制前和抑制后的图像信噪比。

对于同帧图像,输入信噪比 SNR_{in} 必然相同,因为它只取决于输入图像数据。增益 $SNIR$ 的提高就只能通过改善输出信噪比 SNR_{out} 来实现。而改善的关键则在于背景感知算法,因为它兼有抑制杂波和保持目标特性的双重功能。由图 5(a)可以看出,标准形态滤波算法能够准确反映图像背景的缓变特性,但感知处理尚不够细腻,滤波结果不能有效反映起伏杂波的变化,这便是表 1 中 $SNIR$ 偏低的主要原因。图 5(b)则表明,改进形态滤波算法对背景的自适应感知能力很强,输出结果能真实贴切地反映图像背景的起伏变化规律,既改善了标准算法对杂波起伏不够敏感的缺陷,又保持了原算法有效保护信号特性的优点,应用价值较为可观。

3 目标与环境的景象合成

从摄取的实景红外图像中,按图 1 所述方法可将真实的目标特征数据(环境参数、辐射强度、几何结构、对称特性和动态轨迹)准确地提取出来,背景图像可直接采用实际录的多种复杂条件下的红外场景数据。在此基础上,运用多媒体技术对目标进行平移、伸缩、旋转或仿射变换来调节运动姿态,并控制辐射能量,通过改变图像信噪比的方式

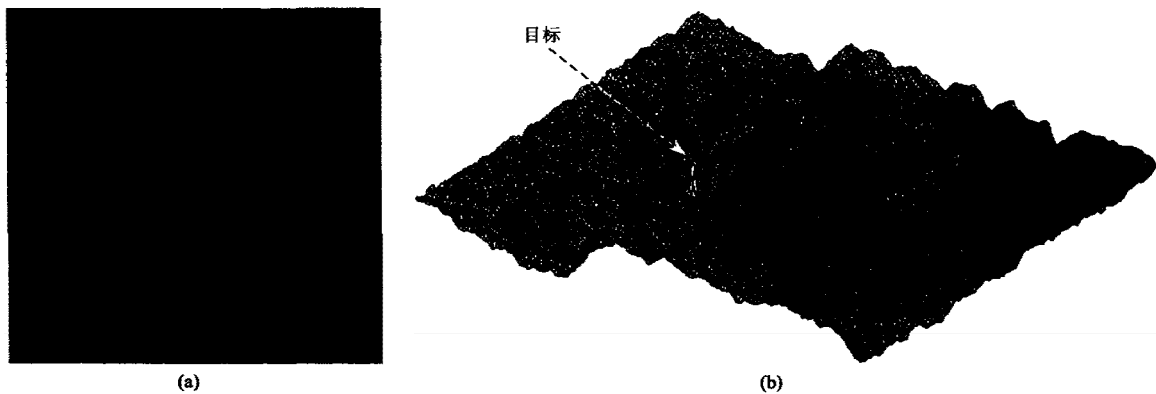


图 4 红外测试图像数据(a)原始红外图像(b)云层与飞机的三维空间分布曲面

Fig. 4 Infrared image experimental data (a)IR raw image (b)three-dimension grayscale curved plane graphs of cloud and airplane

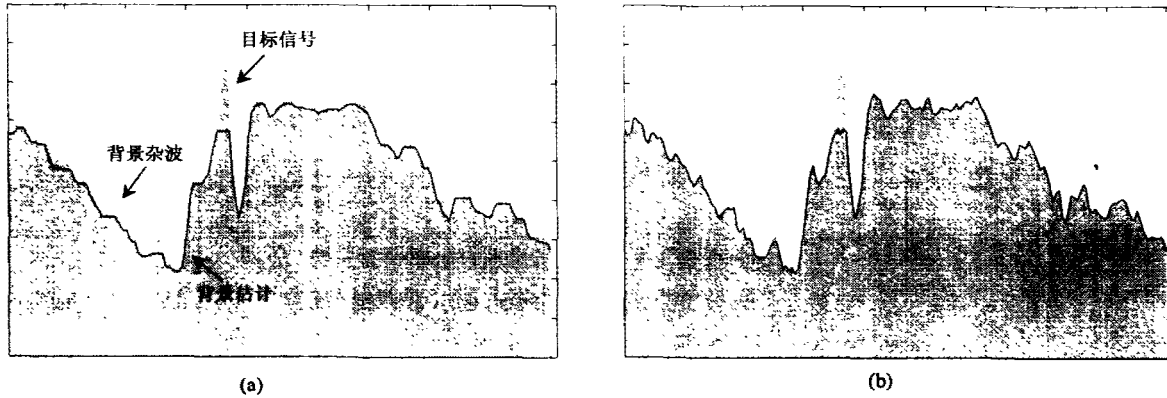


图5 2种形态滤波算法的实验结果(a)标准形态滤波算法的输出特性(b)改进形态滤波算法的输出特性
Fig.5 Experimental results of two kinds of morphological filtering algorithms (a) output graphs of canonical morphological filtering algorithm (b) output graphs of improved morphological filtering algorithm

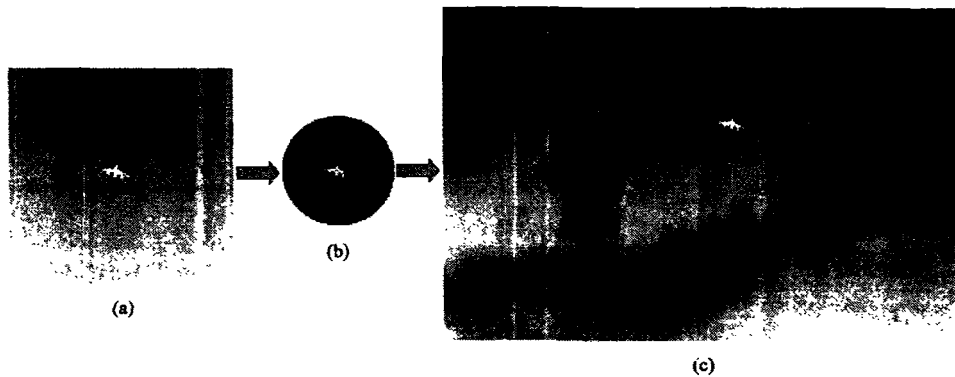


图6 典型红外目标与复杂背景的实景图像合成实验 (a)原始图像(b)目标剪切(c)图像合成
Fig.6 Experimental result for real image combination of typical target and cloud (a) raw image (b) target extraction (c) image combination

实现弱目标信号强度的仿真调控. 采用数字图像处理的镶嵌技术将目标与背景进行有机合成. 如图6所示, 就可生成各种复杂条件下动态视场环境的多目标运动图像数据库.

4 结语

为加速将实验室中的预研新技术转化为战场上实用的武器装备, 实施先期技术演示, 进行真实图像环境下的试验考核, 以评估其技术性能, 是当前红外光电探测技术所面临的一个十分紧迫的研究课题. 为此, 实现逼真、有效的图像环境仿真, 进行目标与背景的复合, 建立各种复杂背景条件下的多目标运动图像数据库, 对于开展红外目标检测与识别技术的研究并检验、评估乃至改进其系统性能都具有十分重要的现实意义.

REFERENCES

- [1] YU Nong, LI Yu-Shu, WANG Run-Sheng. Morphological filters using genetic algorithm for automatic image target detection. *Chinese Journal of Computers* (余农, 李予蜀, 王润生. 自动检测图像目标的形态滤波遗传算法. *计算机学报*), 2001, 24(4): 337—346
- [2] LI Yu-Shu, YU Nong, WU Chang-Yong, et al. Morphological neural networks with applications to automatic target recognition in aeronautics infrared image. *Acta Aeronautica et Astronautica Sinica* (李予蜀, 余农, 吴常泳, 等. 红外航空图像自动目标识别的形态滤波神经网络算法. *航空学报*), 2002, 23(4): 368—372
- [3] GONG Wei, SHI Tsing-Yun, CHENG Min-De. *Mathematical Morphology in Digital Space*. Beijing: Science Publishing House (龚炜, 石青云, 程民德. *数字空间中的数学形态学*. 北京: 科学出版社), 1997
- [4] YANG Xiong-Li. *The Neural Mechanism of Vision*. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press (杨雄里. *视觉的神经机制*. 上海: 上海科学技术出版社), 1996