

基于遗传算法的毫米波辐射图像特征提取方法

赵书占, 张光锋, 娄国伟

(南京理工大学电光学院毫米波光波近感技术研究所, 南京 210094)

摘要: 由于具有较强的穿透力和全天时、全天候的工作能力, 无源毫米波成像技术在遥感和制导方面具有广阔的应用前景。目标识别时, 需要对初始毫米波辐射图像进行特征提取。根据实际毫米波的成像特性, 提出了一种基于遗传算法的图像特征提取算法, 该算法将 Otsu 法与遗传算法相结合求解最优分割阈值, 然后对阈值分割后图像进行形态学处理提取目标特性。通过实验图像数据处理得出结论: 应用所提出的算法可以有效地提取毫米波辐射图像特征。

关键词: 毫米波辐射图像; 特征提取; 遗传算法; 形态学

中图分类号: TN775; TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2015)10-0010-04

Millimeter-Wave Radiometric Image Feature Extraction Based on Genetic Algorithm

ZHAO Shu-zhan, ZHANG Guang-feng, LOU Guo-wei

(Institute of Millimeter Wave and Optical Near Sensing Technology, School of Electronic Engineering and Opto-Electronic Technology, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: Due to its strong penetrability and all-day, all-weather operational capability, the passive millimeter-wave imaging technology has a broad application prospect in remote sensing and guidance. In target recognition, it needs to extract features of the initial millimeter radiometric image. According to the actual imaging characteristic of millimeter-wave, an algorithm of image feature extraction based on genetic algorithm is proposed. In this algorithm, Otsu's method and genetic algorithm are combined to obtain the optimal segmentation threshold, and then morphology processing is implemented to the segmented image for extracting the target features. Experimental result indicates that the proposed algorithm can effectively extract the features of millimeter-wave radiometric image.

Key words: millimeter-wave radiometric image; feature extraction; genetic algorithm; morphology

0 引言

毫米波被动成像技术^[1]利用毫米波辐射计系统来探测目标和场景的毫米波辐射能量, 把接收到的信号进行一系列的放大、积分等处理, 并用伪彩色图像显示出来。由于目标与场景亮度温度的不同, 伪彩色图像能够反映出亮度的温度差, 且与可见光、红外相比, 毫米波^[2]受气象条件影响较小, 在恶劣的环境和气象条件下, 如云雾、烟尘等, 毫米波^[3]能全天候全天时地工作。现有的毫米波辐射图像特征提取算法常用的有基于边缘分割的微分算子^[4]和形态学算子^[5], 不适用于

对目标边缘亮度温差值较小、毛刺噪声较多、边界过渡带混叠的毫米波辐射图像进行边缘检测。本文一方面将遗传算法^[6]与最大类间方差法^[7](Otsu法)相结合, 使用类间方差作为遗传算法适应度计算函数, 然后利用遗传算法, 进行与实际毫米波图像相关参数的优化, 加速求解最优阈值; 另一方面, 通过对阈值分割后图像进行形态学处理, 使所得分割图像边缘接近目标实际形状, 保证目标特征完整, 并利用 Canny 算子提取目标边缘信息。该算法提取目标特征效果较理想且运行速度较快。

1 基本原理

1.1 毫米波辐射计成像系统

如图1所示, 毫米波辐射计成像系统主要包括: 天线、辐射计接收机、扫描装置、信号处理部分以及输出

收稿日期: 2014-12-29

基金项目: 国家自然科学基金(61371038)

作者简介: 赵书占(1989—), 男, 河北邯郸人, 硕士生, 研究方向为毫米波、亚毫米波成像技术。

设备。

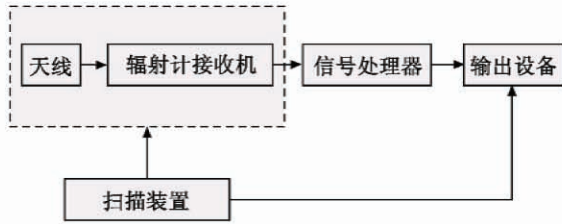


图 1 辐射计成像系统

Fig. 1 Radiometer imaging system

整机安装在转台上,转台由电机驱动,用来控制天线以一定的方式扫过目标的各个部分。天线接收到目标毫米波热辐射能量,首先通过辐射计接收机将目标的毫米波辐射亮度温度转换成相应的低频分量,辐射计逐行扫描时的低频输出信号通过单片机做实时采样、记录,并进行 A/D 转换,每个采样点对应一定灰度的像素点,然后单片机通过串口发送采集数据到主机,主机存储数据并显示相应的伪彩色图像。在计算机输出场景中,不同单位区域的辐射温度对应不同灰度的像素点。辐射计逐行扫描观测场景,实现被动毫米波成像。在二维机械扫描过程中,采样方式决定了扫描方式。成像中采用的扫描方式为水平方向摆动,纵向俯仰升降角度,回程扫描。

1.2 遗传算法

遗传算法^[8]主要借用生物进化中“适者生存”的规律,来源于达尔文的进化论、魏茨曼的物种选择学说和孟德尔的群体遗传学说。遗传算法是模拟自然界生物进化过程与机制求解极值问题的一类自组织、自适应人工智能技术^[9-10],其基本思想是模拟自然界遗传机制和生物进化论而形成的一种过程搜索最优解算法。文献[11]将遗传算法引入图像分割领域,提出了一种基于遗传算法的自适应图像分割技术;文献[12]对基于遗传算法的图像分割方法进行了改进。遗传算法的主要步骤如图 2 所示。

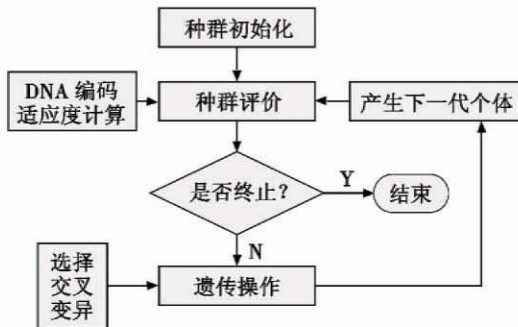


图 2 遗传算法流程图

Fig. 2 Flow chart of genetic algorithm

1) 选择问题的一个编码,给出一个有 N 个染色体的初始化种群;

2) 对种群中的每一个染色体进行评价,计算适应度函数;

3) 若满足停止规则,则停止,否则进行步骤 4);

4) 遗传操作进行染色体选择交叉变异,产生新的种群并进行步骤 2)。

1.3 边缘特征提取

图像边缘是指图像中灰度有显著变化的像素点的集合。边缘提取要求输出的是一个二值化图像,只有黑白两个灰度,其中一个表示边缘,另一个表示背景,最后还需要把边缘细化成只有一个像素的高度,使效果更清晰。在边缘提取之前,可用适合的结构元素对二值图像进行膨胀,让边缘尽量圆滑,且加强与实际形状相似度。膨胀是在二值图像中“加长”或“变粗”的操作。这种特殊的方式和变粗的程度由一个称为结构元素的集合控制,假设 f 和 b 是 Z^2 中的集合,表示为 $f \oplus b$ 的 b 对 f 的膨胀为

$$f \oplus b = \{z | (\hat{b})_z \cap f \neq \emptyset\} \quad (1)$$

运算后相当于在集合 Z^2 中用 b 的中心在 f 的边界走一圈, b 的边界扫过的区域加上 f 本身的区域就是 f 膨胀 b 的结果。

传统的边缘检测算子,如 Sobel 算子, Prewitt 算子, Roberts 算子等,大部分处理的效果都不是很理想,实际处理中不太实用,而 Canny 算子检测的性能较好,本文利用 Canny 算子检测边缘^[13]。

2 算法实现及改进

2.1 遗传算法实现

2.1.1 种群初始化

遗传算法 DNA 编码常使用二进制编码,二进制编码使用二值编码符号集 $\{0, 1\}$, 每个个体是一个二进制符号串。图像分割效果的优劣取决于分割阈值的选择,因此把阈值作为编码对象,又因为阈值大小在 $\{0 \sim 255\}$ 之间, $2^7 < 255 < 2^8$, 故把阈值做 8 位二进制编码,即染色体长度为 8, 初始种群大小设定为 10。具体个体初始化为: 随机产生一个 8 位、每位是 0~1 之间的随机数列 $\{n_1, n_2, \dots, n_8\}$, 再根据映射规则进行 0 和 1 的对应映射,映射规则为

$$n_i = \begin{cases} 1 & n_i < 0.5 \\ 0 & n_i \geq 0.5 \end{cases} \quad (2)$$

2.1.2 适应度函数的选择

由于方差是灰度分布均匀性的一种度量,方差值越大,说明构成图像的两部分差别越大,当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。所以选择类间方差作为适应度函数,假设灰度像

素矩阵类大小是 $M \times N$, 则类间方差的计算公式为

$$g = w_0 \times (u_0 - u)^2 + w_1 \times (u_1 - u)^2 \quad (3)$$

式中: u 是平均像素值, $u = w_0 \times u_0 + w_1 \times u_1$; w_0 是低于阈值的灰度值的像素的总个数; w_1 是高于阈值的灰度值的像素的总个数; u_0 是低于阈值的灰度值的像素的平均灰度值; u_1 是高于阈值的灰度值的像素的平均灰度值, 适应度函数数值越大, 适应度越好。直接应用大津法计算量较大, 因此在实现时采用其等价式

$$g = w_0 \times w_1 \times (u_0 - u_1)^2 \quad (4)$$

2.1.3 选择交叉变异

遗传算法的核心是精英选择、精英交叉、定向变异。这个原则在本文实现为: 通过轮盘赌的选择方式仍对上一代最佳个体的保留存在随机性, 所以用上一代中适应度值大于当前代的个体随机代替当前代中的个体来加快寻优。假设上一代种群 $\{P_1^0, P_2^0, \dots, P_9^0, P_{10}^0\}$, 当前代种群 $\{P_1^1, P_2^1, \dots, P_9^1, P_{10}^1\}$, 其中, P_{10}^0 个体适应度大于所有当前代个体, 则一次精英选择结果可能表示为 $\{P_1^1, P_2^1, \dots, P_{10}^0, P_{10}^1\}$ 。交叉操作在当前代个体中随机选择 $2N$ 个个体, N 的大小由交叉率控制。 $2n-1$ 和 $2n$ 是一对 ($n < N$), 共 N 对进行交叉, 进行单点交叉操作, 具体操作为 $0 \sim 1$ 区间等分 8 份, 对应染色体基因的 1 到 8 位, 每对操作时产生一个 $0 \sim 1$ 之间的随机数, 确定交叉基因位置, 把配对基因交叉点前后的基因分别进行对应互换, 从而交叉产生新个体。变异操作在当前代个体中随机选择 M 个个体, M 的大小由变异率控制, 个体进行单点变异, 变异基因位置的选择同交叉基因位置的选择, 然后变异位置基因进行 $0, 1$ 互换, 产生变异个体。

2.1.4 停止规则

常见的停止规则有 4 类: 第 1 类给定最大遗传代数; 第 2 类当遗传算法无法再进化出更好解时停止; 第 3 类是给定问题一个上界计算方法, 当进化达到要求的偏差度时停止; 第 4 类就是混合前 3 类方法。这里使用第 1 类停止规则, 设定遗传代数为 10 代。

2.2 图像预处理及特征提取

3 mm 辐射计系统所成原始图像是伪彩色图像, 为了减少数据量, 方便操作, 首先进行灰度化处理。灰度化根据三色重要性及其他指标, 将三色分量以不同的权值进行加权平均。由于人眼对绿色的敏感度最高, 对蓝色敏感度最低, 因此, 按式(5)对 R, G, B 三分量进行加权平均得到较合理灰度图像, 灰度化结果如图 3e 所示。

$$G_{\text{gray}} = (0.30 \quad 0.59 \quad 0.11) \times \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (5)$$

通过遗传算法得到最佳分割阈值后, 利用该阈值

对灰度图像进行二值化, 然后利用椭圆结构元素对二值图像做形态学处理, 改善边缘缺失, 最后对改善后的二值图像利用 Canny 算子检测边缘, 得到目标轮廓。

3 实验数据处理及分析

对获取的图像数据进行处理, 代码结构大致如下所述:

1) 定义适应度函数, 选择函数, 交叉函数, 变异函数;

2) 定义主函数, 主函数完成读入图像, 图像灰度化, 设置遗传代数, 种群初始化功能, 在主函数中顺序调用步骤 1) 中的 4 个函数, 判断是否终止, 不终止继续顺序调用步骤 1) 中 4 个函数, 到达最大遗传代数, 输出最佳阈值, 进行图像二值化, 边缘提取。

实验数据结果分析如图 3 和图 4 所示。

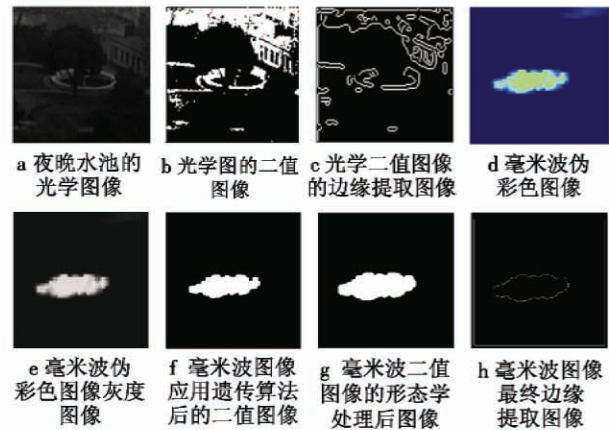


图3 光学图像和毫米波图像结果对比图

Fig.3 Comparison of optical image and millimeter wave image

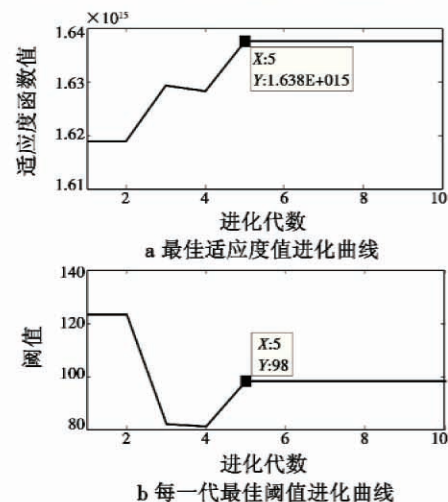


图4 遗传算法运行数据图

Fig.4 Operating results of genetic algorithm

从图 3a、图 3b、图 3c 3 幅图可以看出, 在夜晚条件下, 光学图像对目标的识别性能很差, 背景和水池目标的特性相差不大, 几乎识别不出水池; 从图 3a、图 3d 对

比中可以看出,毫米波成像系统成像效果较好,可以很好地区分水池和背景,图 3d 图像边缘很不规则,主要是由于树木干扰造成;图 3e 灰度图像到图 3f 二值图像所用阈值通过遗传算法得出,用该阈值处理效果比较理想;由于图像边缘很不规则需要对其用椭圆结构膨胀,使之尽可能与实际水池形状相符,由图 3g、图 3h 可以看到,所做处理是有效的,对图像边缘改善效果显著;通过图 3c、图 3h 对比看出,光学图像提取水池边缘由于树木遮挡造成缺失,而毫米波具有一定穿透作用,故所成边缘较完整。图像评价从主观和客观两个方法进行评价,主观评价主要通过人的视觉进行评价,而本文选取遗传算法的收敛速度做客观评价。通过遗传算法对图像数据进行处理,如图 4a 和图 4b 所示,得出最佳阈值是 98,在第 5 代之后就不再进化,收敛效果较好。以本文所设计的遗传算法可以很好地完成毫米波图像分割,并且收敛速度也符合要求。获得最佳阈值后进行图像分割,图像膨胀和边缘提取,所得边缘主观上近似为椭圆,与实际目标相似度极高,实验数据处理结果较为理想。

4 结束语

利用毫米波被动成像技术对物体进行探测克服了红外或激光探测器对烟、尘、雨、雾等外界环境的不适应,但存在毫米波辐射图像分辨率低、边缘模糊等不足,针对毫米波辐射图像特点,本文设计方法可有效进行图像特征提取,获取目标轮廓清晰且完整,但还需在目标几何特征和物理特征提取方面进行深入研究。

参考文献

- [1] BABACAN S D, LUESSI M, SPINOULAS L, et al. Compressive passive millimeter wave imaging [C] // The 18th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), IEEE, 2011 : 2705-2708.
- [2] YEOM S, LEE D S, JANG Y S, et al. Realtime concealed object detection and recognition with passive millimeter wave imaging [J]. Optics Express, 2012, 20 (9) : 9371-9381.
- [3] SARKIS M. Adaptive reconstruction of millimeter wave radiometric images [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2012, 21 (9) : 4141-4151.
- [4] HAO L, ZHANG Z Y, GUO W. Millimeter wave image edge detection based on mathematical morphology [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2006, 18 (4) : 19-22.
- [5] BENEDIKTSSON J A, PESARESI M, AMASON K. Classification and feature extraction for remote sensing images from urban areas based on morphological transformations [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41 (9) : 1940-1949.
- [6] RIBEIRO A, RANZ J, BURGOS-ARTIZU X P, et al. An image segmentation based on a genetic algorithm for determining soil coverage by crop residues [J]. Sensors, 2011, 11 (6) : 6480-6492.
- [7] 胡敏,李梅,汪荣贵.改进的 Otsu 算法在图像分割中的应用 [J]. 电子测量与仪器学报, 2010, 24 (5) : 443-449. (HU M, LI M, WANG R G. Application of an improved Otsu algorithm in image segmentation [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2010, 24 (5) : 443-449.)
- [8] DEJONG K A. The analysis of the behavior of a class of genetic adaptive systems [D]. Ann Arbor: University of Michigan, 1975.
- [9] OLDBERG D E. Genetic algorithms in search, optimization and machine learning [M]. Boston: Addison-Wesley Longman Press, 1989.
- [10] TANG K S, MAN K F, KWONG S, et al. Genetic algorithms and their applications [J]. Signal processing Magazine, 1996, 13 (6) : 22-37.
- [11] BHANU B, LEE S, MING J. Adaptive image segmentation using a genetic algorithm [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1995, 25 (12) : 1543-1567.
- [12] LO BOSCO G. A genetic algorithm for image segmentation [C] // The 11th International Conference on Image Analysis and Processings, Palermo, Italy, 2001 : 262-266.
- [13] HE J, HOU L, ZHANG W. A kind of fast image edge detection algorithm based on dynamic threshold value [J]. Sensors & Transducers, 2013, 24 (8) : 179-183.

欢迎投稿 <http://www.dgykz.com>