

文章编号: 1672-8785(2010)08-0028-05

基于分形理论和 Gabor 变换的港口背景红外图像分割

石文君¹ 吴中川² 黄应顺³ 汪 浩¹

(1. 海军航空工程学院研究生管理大队, 山东 烟台 264001 ;

2. 海军装备部驻重庆地区军事代表局, 重庆 621900 ;

3. 中国人民解放军 95316 部队, 广东 广州 510900)

摘 要: 为了对复杂港口背景的红外图像进行有效、快速和准确的分割, 根据分形理论的思想, 在对红外图像进行分形处理的基础上, 先运用最大类间方差法 (Otsu) 对红外原始背景图像进行粗分割, 然后运用 Gabor 变换和 Gabor 多通道滤波器提取港口背景轮廓, 最后使用中值滤波滤除噪声, 得到最终的港口背景轮廓图像。通过对实际港口背景的红外图像进行分割实验, 验证了所提方法的可行性和有效性。

关键词: 图像分割; 分形理论; Gabor 变换; Otsu 分割

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2010.08.007

Segmentation of Infrared Image of Harbor Background Based on Fractal Theory and Gabor Transform

SHI Wen-jun¹, WU Zhong-chuan², HUANG Ying-shun³, WANG Hao¹

(1. Graduate Students' Brigade of Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China;

2. Military Representation Office of Naval Equipment Department in Chongqing Region, Chongqing 621900, China;

3. No. 95316 Unit of PLA, Gaungzhou 510900, China)

Abstract: In order to segment an infrared image with a complex harbor background effectively, rapidly and accurately, an infrared image segmentation method based on fractal theory is proposed. Firstly, the segmentation method uses the Otsu to segment the raw infrared image coarsely on the basis of the fractal processing. Then, it uses the Garbor transform and Garbor multichannel filters to extract the harbor contour in the image. Finally, it uses the median filter to filter the noise and hence obtain the true harbor contour image. The experimental result shows that the proposed method is feasible and effective.

Key words: image segmentation; fractal theory; Gabor transform; Otsu

1 引言

红外多目标跟踪与检测算法是卫星预警、

精确制导、告警和监测等领域的一项关键技术, 对港口复杂背景下多目标的跟踪与检测也是现今的研究热点之一。其中, 对港口背景的有效图

收稿日期: 2010-04-09

作者简介: 石文君 (1981-), 男, 湖北大冶人, 博士研究生, 主要研究方向为红外目标检测以及导弹突防和对抗。

E-mail: shiwen_79_1@163.com

像分割是实现多目标稳健跟踪与正确检测的关键部分。通常, 港口背景具有以下几个特点^[1]: (1) 存在如高大建筑物、停泊舰船、大铁架、码头和山峰等红外特征明显的物体; (2) 红外灰度分布广且不易建立系统分布模型; (3) 帧间背景图像的差异变化大, 不易实现背景抑制。图 1 为一幅典型的港口背景红外图像, 图 2 为其灰度分布三维直方图。



图 1 典型的港口红外原始图像

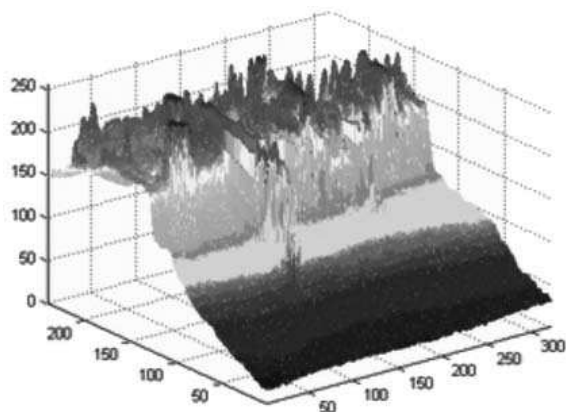


图 2 三维直方图

常用的红外图像分割方法有阈值法、边缘检测法、区域生长和分裂合并法、基于统计学的方法和基于偏微分方程的图像分割方法等。其中, 阈值法虽然实现简单、运算速度快, 但难以处理包含多个前景物体的情况; 边缘检测法只适用于边缘灰度值过渡比较尖锐且噪声较小等不太复杂的图像分割; 区域生长和分裂合并法比较适合小目标的分割, 但需要人工交互以获得种子点, 同时对噪声也比较敏感; 基于统计学的

方法通常没有考虑空间关联信息, 且其分割性能取决于参数估计; 基于偏微分方程的分割方法运算量大, 计算的复杂程度高, 相关理论也不是很成熟和完备。结合港口背景红外图像的分布特点, 以上方法都很难对复杂港口背景下的红外图像进行有效、快速和准确的分割。

为了有效、准确地提取红外港口背景的轮廓, 本文在介绍分形理论及图像分形维计算的基础上, 提出了先应用分形理论对红外图像进行分形处理, 以降低图像的复杂度; 在此基础上, 应用 Otsu 方法对各个分形图像进行粗分割; 然后运用 Gabor 变换和 Gabor 多通道滤波器滤除图像分割中的干扰部分, 提取港口背景的轮廓; 最后使用中值滤波滤除 Gabor 变换后产生的图像噪声, 从而得到最终的港口背景轮廓图像。

2 分形理论及图像分形维的计算

“分形 (Fractal)” 的概念是由 Mandelbrot 提出的, 用来精确描述自然表面粗糙程度^[2]。其一般描述性定义为: “分形是一种局部与整体之间存在的某种相似的形”。系统的每一个元素都在一定程度上体现着系统整体的信息和特征自相似性, 也即所研究的对象。当空间尺度 (或时间尺度) 改变后, 其结构特征不变, 只是原来的放大了或缩小了, 整体为局部的无穷嵌套。自 1975 年美国 B.B.Mandelbrot 教授首次提出 “分形” 以来, 分形理论已被广泛应用于计算机图像处理中的纹理分析、图像压缩、图像边缘检测等领域^[3]。

计算图像分形维数的常用方法有^[4]: (1) Peleg 提出的 ϵ - 毯子模型; (2) Pentland 提出的基于分数布朗运动 (FBM) 的模型; (3) Voss 和 Keller 提出的通过求盒子中像素概率的分形盒模型; (4) Chaudhuri 提出的差分盒模型。由于差分盒模型是一种简单、快速的分形维数计算方法, 所以本文采用该方法来计算红外图像的分形维数。

差分盒维数法 (DBC) 的算法思想^[5] 如下: 对于给定面积为 $M \times M$ 的图像 (区域), 假设它已被分解成 $S \times S$ 大小的小块, S 是介于 1 和 $M/2$ 之间的一个整数, 并令 $r = S/M$ 。此时, 可

把 $M \times M$ 的图像看成是一个三维空间, (x, y) 表示各点的平面位置, 第三维用来表示像素点的灰度值 (对应于表面形貌的高度值)。这样, 当把图像平面 (x, y) 划分成一个个 $S \times S$ 的网格, 并把第三维图像的灰度值 (表面形貌的高度值) 划分成长度为 S' 的小段时, 则在每一个网格上都存在一系列大小为 $S \times S \times S'$ 的小盒子。设图像的灰度级为 G , 取 S' 满足 $[G/S] = [M/S] = 1/r$ 。假设在图像的第 (i, j) 个网格内灰度值最高和最低的像素点分别落在第 l 和第 k 个盒子内, 则尺度为 r 时的盒子数 N 在第 (i, j) 个网格内的分布 $n_r(i, j)$ 为

$$n_r(i, j) = l - k + 1 \quad (1)$$

计算所有网格的分布 $n_r(i, j)$ 值后, 得到:

$$N_r = \sum_{i,j} n_r(i, j) \quad (2)$$

对于不同的 r , 可以得到不同的 N_r 值。应用最小二乘法拟合出的 $\log N_r \sim \log(1/r)$ 的斜率即为对应的分形维数值 D 。

$$D = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\log N_r}{\log(1/r)} \quad (3)$$

3 Gabor 变换和 Gabor 多通道滤波器

通过二维 Gabor 变换可以同时获取空间与频率域的最小不确定性, 而用 Gabor 函数组成的二维 Gabor 滤波器则可以提取目标的局部空间和频率域信息^[6]。二维 Gabor 函数的一般形式为

$$h(x, y) = g(x', y') \exp[j2\pi(Ux + Vy)] \quad (4)$$

$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \times \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\left(\frac{x}{\sigma_x}\right)^2 + \left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] + 2\pi jwx\right\} \quad (5)$$

$$(x', y') = (x \cos \theta + y \sin \theta, -x \sin \theta + y \cos \theta) \quad (6)$$

式中, U 和 V 分别对应于滤波器的水平和垂直频率, x' 和 y' 是直角坐标系旋转角度 θ 后在新坐标系下的坐标, σ 是标准差。

考虑到 Gabor 滤波器有多尺度、多频率和多角度滤波的效果以及其在图像处理中的广泛应用, 加尺度变换、频率变换和旋转因子后的 Gabor 滤波器公式为^[7]

$$g(x, y, \sigma_x, \sigma_y, \theta, f) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \times \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{(x \cos \theta + y \sin \theta)^2}{\sigma_x^2} + \frac{(y \cos \theta - x \sin \theta)^2}{\sigma_y^2}\right]\right\} \cos[2\pi f(x \cos \theta + y \sin \theta)] \quad (7)$$

只要适当改变其频率带宽和方向带宽, 就可以产生任意中心频率、带宽和方向的 Gabor 滤波器组, 从而覆盖频域内的所有区域。

图像 $f(x, y)$ 的特征提取可通过 Gabor 滤波器与图像中所有像素 (x, y) 进行卷积来实现, 即:

$$s(x, y, \sigma_x, \sigma_y, \theta, f) = g(x, y, \sigma_x, \sigma_y, \theta, f) * f(x, y) \quad (8)$$

这里通常选择 $\sigma_x = \sigma_y = C$ (C 为常数)。

为了对一幅图像的整个频率域进行采样, 通常可通过多个频率和相位的 Gabor 滤波器组来获取图像的多通道和多分辨率特征, 其参数通常可在频率空间内进行选择。用各个滤波器组对点 (x_r, y_s) 卷积后即可得到图像的 Gabor 小波表示

$$G = \begin{bmatrix} s(x_r, y_s, \theta_0, f_0) & \cdots & s(x_r, y_s, \theta_{n-1}, f_0) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ s(x_r, y_s, \theta_0, f_{m-1}) & \cdots & s(x_r, y_s, \theta_{n-1}, f_{m-1}) \end{bmatrix} \quad (9)$$

滤波器组的相位选择为 $\theta_k = \frac{\pi k}{n}$, $k = (0, 1, \cdots, n-1)$, θ_k 为第 k 个滤波器的相位。

滤波器组的频率选择为 $f_l = (\sqrt{2})^{-l} f_{high}$, $l = (0, 1, \cdots, m-1)$, f_l 为第 l 个滤波器的频率, f_{high} 为滤波器的最高频率。

上式表明, Gabor 展开可以使任何一个函数表示为移位 Gabor 函数的加权和。因此, 基于 Gabor 变换的图像重建为^[8]

$$f(x, y) = \sum_r \sum_s \sum_m \sum_n W_{rsmn} g(x - x_r, y - y_s) \times \exp\{j2\pi[U_m(x - x_r) + V_n(y - y_s)]\} \quad (10)$$

式中, W_{rsmn} 为 Gabor 函数展开系数, x_r 和 y_s

为移位序列, U_m 和 V_n 为调制频率, 且 $xU = yV = 1$ 。

4 Otsu 阈值分割

Otsu 最大类间方差法是 Otsu 于 1979 年提出的一种自适应阈值分割方法, 采用类间最大距离准则确定最佳分割阈值^[9]。其实现思想^[10]为: 设图像有 L 个灰度级, 以灰度 m 为门限将图像分割成两个区域, 对不同区域定义灰度值产生概率、均值和类间方差, 可以推导出类间方差是灰度 m 的函数。为了求得最佳的分割阈值 m , Otsu 提出以类间方差作为判别准则, 当阈值使类间方差最大时, m 就是分割该图像的最佳阈值。

5 港口背景红外图像分割和轮廓提取

港口背景红外图像分割和轮廓提取的流程如图 3 所示。

本文采用差分盒维数法对图像进行分形处理。在用 Otsu 方法对图像进行粗分割后, 先根据式 (9) 对粗分割后的图像进行不同相位和频率的 Gabor 变换, 再根据式 (10) 进行重建, 最后使用中值滤波滤除重建图像中的噪声。

6 实验与结果分析

采用分辨率为 320×240 、响应波段为 $8\mu\text{m} \sim 14\mu\text{m}$ 的红外成像设备进行红外实验和算法检验。实验用计算机的配置为英特尔 Core2 Duo 2.6GHz 处理器, 4GB 内存。图 4 为对图 1 进行分形和 Otsu 粗分割后的图像, 图 5 显示了经 Gabor 变换和重建的图像, 图 6 为经过中值滤波得到

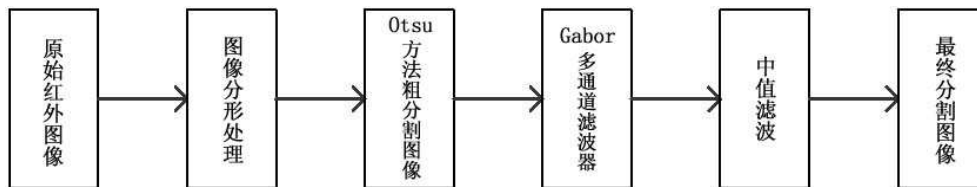


图 3 港口背景下的红外图像分割流程图



图 4 粗分割后的图像



图 5 Gabor 变换和重建后的图像

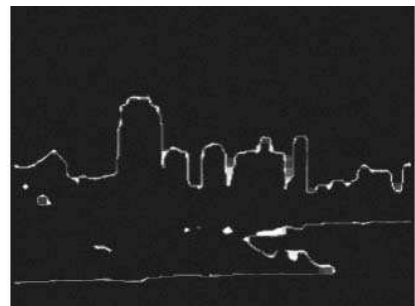


图 6 最终分割图像

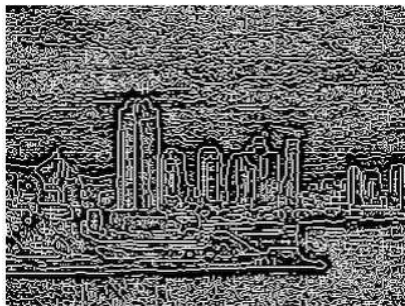


图 7 Sobel 算子的分割图像



图 8 区域增长方法的分割图像



图 9 基于 C-V 模型的分割图像

的最终分割图像。本次实验采用差分盒维数法求得了红外图像的分形维数 $D = 3.122476$ ；用 Otsu 法得到的阈值分别为 118 和 168，选取 Gabor 变换的相位为 $\theta_k = \frac{\pi}{16}k$ ， $k = (0, 1, \dots, 7)$ 和频率为 $f_0 = 0.1$ ， $f_1 = 0.2$ ， $f_2 = 0.3$ 。

从图 7 中可以看出，使用边缘检测法（以 Sobel 算子为例）不仅无法有效地检测出边缘，而且还产生了很多干扰；图 8 显示了基于区域增长方法进行图像分割时存在的误分割现象；图 9 表明，使用基于 C-V 模型的水平集的方法不仅存在误分割现象，而且所需运算时间较长（需要迭代 200 多次，总运算时间为 5min ~ 6min）。图 6 则为能正确提取港口背景轮廓的图像。

7 结束语

在整个算法中，先用分形处理降低港口背景图像的复杂度，然后运用 Gabor 变换滤除图像干扰部分，最后使用中值滤波滤除 Gabor 变换产生的尖锐噪声，从而实现对港口背景轮廓的提取。试验表明，使用文中图像分割方法的运行时间在 0.03s 左右，可达到实时性要求。该算法是一种较好的复杂港口背景轮廓提取方法。

参考文献

- [1] 吴巍, 彭嘉雄, 王海晖. 红外图像序列小目标的特性分析与检测 [J]. 红外与激光工程, 2002, 31(2): 146-149.
- [2] 王东生, 曹磊. 混沌、分形及其应用 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1995: 146-155.
- [3] B B Mandelbrot. The fractal geometry of Nature [M]. San Francisco: Freeman, 1982, 186-213.
- [4] K Uemura, et al. Generation of fractal dimension images and its application to automatic edge detection in brain MRI [J]. Computerized Medical Imaging and Graphics, 2000, 24(2): 73-85.
- [5] 赵莹, 高隽, 陈果, 等. 一种基于分形理论的多尺度多方向纹理特征提取方法 [J]. 仪器仪表学报, 2008, 29(4): 787-791.
- [6] Kamarainen J K. Feature Extraction Using Gabor Filters [D]. Finland: Lappeenranta University of Technology, 2003.
- [7] Kyrki V, Kamarainen JK, Kalviainen H. Simple Gabor feature space for invariant object recognition [J]. Pattern Recognition Letters, 2004, 25(3): 311-318.
- [8] 王学文, 丁小青, 刘长松. 基于 Gabor 变换的高鲁棒汉字识别新方法 [J]. 电子学报, 2002, 41(9): 1317-1322.
- [9] 郝颖明, 朱枫. 二维 Otsu 自适应阈值的快速算法 [J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(4): 484-488.
- [10] 蔡梅艳, 吴庆宪, 姜长生. 改进 Otsu 法的目标图像分割 [J]. 电光与控制, 2007, 14(6): 118-119.

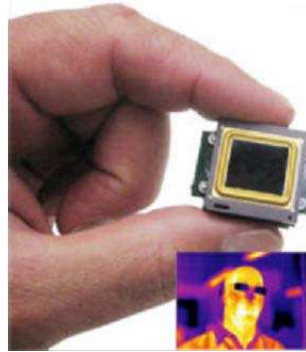
新闻动态 News

美国 Electrophysics 公司研制出世界上最小的热成像组件

据 www.electrophysics.com 网站报道，法国 Sofradir 公司所属子公司美国 Electrophysics 公司推出了两款基于非致冷微测辐射热计红外探测器的成像内核——ATOM 640 和 ATOM 320。他们将最先进的电子设备与高性能的非致冷红外探测器（分别为 640×480 和 320×240 ）相结合，研制出世界上最小的热成像组件。ATOM 红外成像内核的功耗低于 1W（ATOM 320 的功耗为 0.8W），总体积约为 6in^3 （ATOM 320），因此它们非常适合被集成到手持式热成像产品和小型无人平台中。

虽然 ATOM 红外成像内核的尺寸很小，但是由于采用了 ULIS 公司的高性能非晶硅微测辐射热计，它们提供的图像质量非常不错。众所周知，非晶硅微测辐射热计探测器具有高可靠性，

再加上它们可以轻易地用标准的半导体工艺制作，因此其探测器阵列拥有较高的均匀性和一致性。另外，它们在图像模糊方面也有所改善，这使得其非常适用于便携式或装在移动平台上的夜视产品。ATOM 640 的独特之处在于，它是以新的 $17\mu\text{m}$ 像元间距技术为基础的，特别适合体积小、低功耗的应用，如小型无人机 (UAV) 和手持式热成像观察镜。



□ 岳桢千