文章编号:1674-7070(2013)01-0069-04

基于分形维数的离线图像分割方法

叶小岭[1]　刘太磊[1]　胡凯[1]

摘要

为了能够提高图像分割的精度,提出了一种基于统计学和分形维数的图像分割方法,能够对自然景物中树木、道路和天空进行分割,并且可以应用于机器人导航的视觉系统. 该方法首先通过统计大量的道路和树木和天空的分形维数(LFD),分析三者对应的 LFD 值分布特点,然后利用该特点对图像进行分割,最后对分割后的图像进行平滑处理,得到分割结果. 实验结果表明:利用统计结果进行图像分割能够提高分割速率,而且使用分形维数作为特征能够得到比较精确的分割效果.

关键词

统计学;分形维数;毯子覆盖法;图像分割

中图分类号 TP391.4

文献标志码 A

0　引言

图像中不同的物体表面会呈现出不同的纹理特性. 为了能够区分出兴趣目标与背景,纹理分割已经成为数字图像处理的一个非常重要的研究方向. 已有的纹理分割方法多数是基于传统欧氏几何理论的空间域和频域内的分割方法,其主要弊端是欧氏几何理论不能够描述形状复杂的自然场景.

Mandelbrot 等[1]在 20 世纪 70 年代创立了区别于传统几何理论的分形几何理论,提出了“分形”、“分形维数”等影响深远的概念. 分形维数是分形几何理论的基本概念之一,目前已得到广泛重视,成为描述自然现象的重要参数,并应用于图像分割、图像压缩以及计算机视觉领域. Peleg 等[2]将分形维数作为图像的纹理特征,分析了不同分辨率下图像的纹理特性,实现 Brodatz 纹理图像库中各种纹理图像的归类. Novianto 等[3]提出了一种计算图像分形维数(LFD) 的算法,并结合聚类算法应用于自然景色的图像分割. Mavroforakis 等[4]将分形维数特征结合神经网络及支持向量机运用于医学图像中肿块的检测. Yoshida 等[5]提出了一种新的图像二值化方法,可以将分形维数较高部分与较低部分分割开来,但是只适用于目标区域与背景区域分形维数相差较大的情况,而且需要对 256 个阈值分割的结果分别进行 LFD 计算,计算量较大,运行时间较长.

本文提出了一种基于统计学和分形维数的图像分割方法,将分形维数作为图像特征,通过统计学方法对其归类,从而达到图像分割的目的. 本文分别对自然景物中树木、道路和天空进行分割,可以应用于机器人导航的视觉系统. 其优点在于,在统计结果的基础上可以提高图像分割的速度,另外,采用 LFD 算法计算图像的分形维数可以提高后期图像分割的精度.

1　LFD 算法介绍

1.1　毯子覆盖法

Peleg 等[2]于 1984 年提出了覆盖法求分形维数. 假设图像的表面 $g(i,j)$ 被毯子所覆盖,上毯子表示为 u_ε,下毯子表示为 b_ε,则毯子表面计算公式为

$$u_\varepsilon(i,j) = \max\left\{u_{\varepsilon-1}(i,j)+1, \max_{|(m,n)-(i,j)|\leqslant 1} u_{\varepsilon-1}(m,n)\right\}, \quad (1)$$

收稿日期 2012-02-20

资助项目 江苏省产学研联合创新资金(BY2011111);江苏省高校优势学科建设工程项目

作者简介

叶小岭,女,教授,硕士生导师,主要研究领域为系统优化与控制、智能仪器仪表、计算机应用等. xyz. nim@163. com

1　南京信息工程大学　信息与控制学院,南京,210044

$$b_\varepsilon(i,j)=\max\left\{b_{\varepsilon-1}(i,j)+1,\max_{|(m,n)-(i,j)|\leqslant 1}b_{\varepsilon-1}(m,n)\right\},\quad(2)$$

其中 (m,n) 表示与像素坐标 (i,j) 距离小于 1 的邻域像素坐标. 定义上下毯子的初始值为 $u_0(i,j)=b_0(i,j)=g(i,j)$,$g(i,j)$ 表示坐标 (i,j) 处对应的图像灰度值.

假设 ε 表示毯子数(毯子厚度),那么毯子的面积 $A(\varepsilon)$ 为

$$A(\varepsilon)=\frac{\sum_{i,j}(u_\varepsilon(i,j)-b_\varepsilon(i,j))}{2\varepsilon}.\quad(3)$$

已知文献[1]定义的分形表面公式为 $A(\varepsilon)=F\varepsilon^{2-D}$,$F$ 是常数,D 是图像表面的分形维数. 对等式两边取对数,得到 $\ln\{A(\varepsilon)\}=\ln F+(2-D)\ln\varepsilon$,那么可以通过 $\ln\{A(\varepsilon)\}$ 与 $\ln\varepsilon$ 的线性关系计算得到分形维数.

1.2 LFD map 生成

LFD[6]的概念是与全局分形维数(GFD)的概念相对应的,GFD 是指使用毯子法覆盖整幅灰度图像计算得到的分形维数,而 LFD 的计算方法为:假设图像大小为 $M\times N$,以像素坐标 (i,j) 为中心,取窗口大小为 w 的区域,使用上述毯子覆盖法计算该区域的分形维数,将计算的结果赋给坐标 (i,j) 对应像素. 对于二维灰度图像. 分形维数的计算结果应该在 2.0~3.0 之间.

LFD map 图像计算公式为

$$G_{(i,j)}=255\times\frac{D_{(i,j)}-D_{\min}}{D_{\max}-D_{\min}},\quad(4)$$

其中 $G_{(i,j)}$ 是像素坐标 (i,j) 处 LFD map 图像的灰度值,$D_{\max}$ 和 $D_{\min}$ 分别表示 LFD 值的最大值和最小值.

最后生成的 LFD map 如图 1b 所示,其中浅色像素表示分形维数较高部分,深色表示分形维数较低部分. 由此,可以看出树木、草地以及边缘部分分形维数较高.



a.原始图像　　b.LFD map图像

图 1　LFD map 的生成

Fig. 1　Generation of LFD map

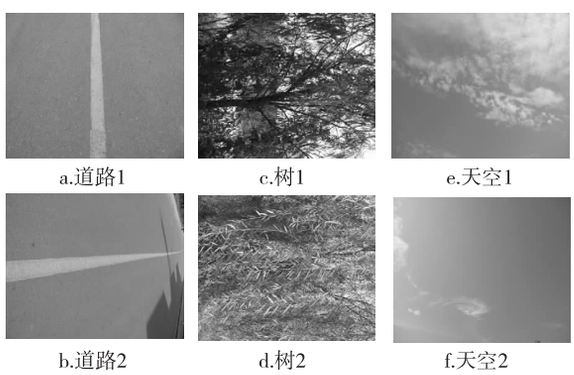
2　实验与仿真

2.1　统计数据的获得

本文的图像分割方法是建立在统计学的基础上进行的,需要大量统计数据的支持.

1) 拍摄天空、道路和树木图片各 1 000 张(如图 2 所示),形成一个统计数据库.

2) 对图片库中所有图片进行预处理,包括图像灰度化和直方图均衡化,将图片调整统一大小(本文为 360 像数×480 像数).



a.道路1　c.树1　e.天空1

b.道路2　d.树2　f.天空2

图 2　统计图像库示例

Fig. 2　Examples of image database

3) 按照前文所述方法,计算每幅图像 LFD 的平均值(毯子的厚度 $\varepsilon=44$,窗口大小取 3×3[3]),即得到树木、道路和天空各 1 000 个平均值,统计各向量中平均值出现的次数,最后将其拟合为曲线,如图 3 所示,可以得到天空、道路和树木对应的 3 个分形区域. 分析图 3 可知,树木的分形维数较高,天空的分形维数较低,而道路的分形维数与前两者均有重叠,这是由于在采集道路的图片库时,一部分是在距离较远处拍摄,分辨率较低,道路表面粗糙程度不明显,相应的分形维数较低,而另一部分拍摄距离较近,分辨率较高,道路表面较粗糙,相应分形维数较高. 由此可以看出,仅仅使用分形维数这一特征无法将道路提取出来,针对这一情况,后期可以引入颜色作为辅助特征进行判断.

2.2　图像分割

由图 3 可以看出,在不考虑道路的情况下,树木和天空存在明显的阈值(2.20),故可以根据将图像分割为两个部分:

$$Bw(i,j)=\begin{cases}0, & D_{\mathrm{LF}}(i,j)\geqslant 2.20,\\ 1, & D_{\mathrm{LF}}(i,j)<2.20.\end{cases}\quad(5)$$

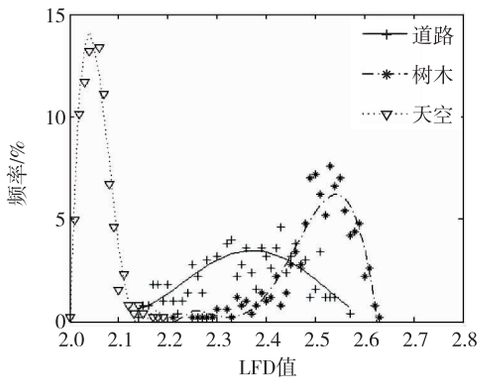


图 3　LFD 均值统计结果曲线拟合

Fig. 3　Curve fitting results of the average of LFD

2.3　后期处理

图 4 为道路分割和平滑效果. 由图 4b 和 4e 可以看出:距离相机近的路面,由于分辨率较高,分形维数相应较高,而由于阳光照射角度不同,树木在地面有时会有阴影,同样也会提高该区域道路的分形维数. 有鉴于此,本文使用了平滑处理.

1) 利用数学形态学的方法对图 4b、4e 中杂小区域进行处理. 为了保留道路的两条中线(以便后期机器人导航使用),本文使用垂直方向的直线对图 4b 和 4e 先膨胀后腐蚀.

2) 在第一步的基础上去除图像中面积较小区域. 平滑后的效果分别如图 4c 和 4f 所示.

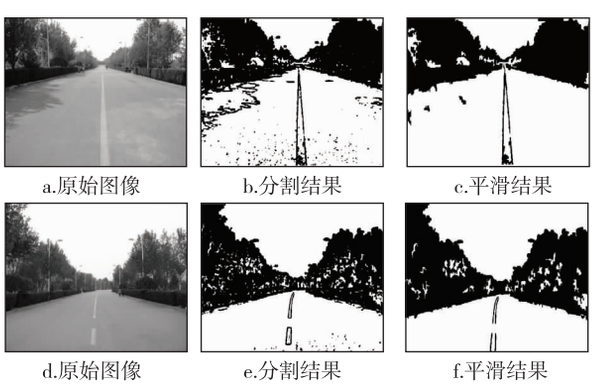


图 4　道路分割及平滑效果

Fig. 4　Segmentation and smoothing results of the proposed method

2.4　实验结果

本文提出的图像分割方法最终效果如图 4c 和 4f 所示. 分别使用 Otsu 方法、Niblack 方法以及文献[5]中的方法对图 4a 和 4d 进行图像分割,得到的结果如图 5 所示,运行时间如表 1 所示. 由此可以看出,Otsu 方法虽然运行时间最快,但无法精确地将树木在道路上的投影与树木分割开来,Niblack 的方法分割效果并不理想,文献[5]中的方法可以得到精确的分割结果,但是需要对 256 个阈值分割的结果分别进行 LFD 计算,计算量较大,运行时间较长. 而使用本文所提出的方法是在统计结果的基础上进行图像分割,提高了运行速度,并且可以将树木、道路和天空的交界处精确地描述出来. 如图 6 所示为 K 均值聚类方法与本文方法在不同的图像尺寸下运行时间的比较. 另外,可以保留一些有用的边缘信息(例如本例中道路中央黄线,可以用于后期机器人导航).

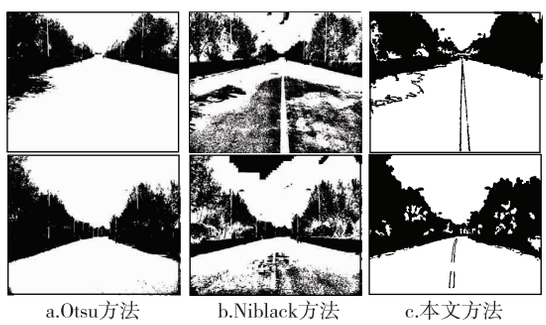


图 5　相关方法分割效果比较

Fig. 5　Segmentation result comparision of different methods

表 1　图像分割不同算法的运行时间比较

Table 1　Runtime comparision of 4 image segmentation methods

s

原始图像	Otsu 方法	Niblack 方法	文献 5 方法	本文方法
图 4a	0.177 4	11.253 0	31.268 2	5.376 1
图 4b	0.097 9	10.005 1	30.882 4	5.265 2

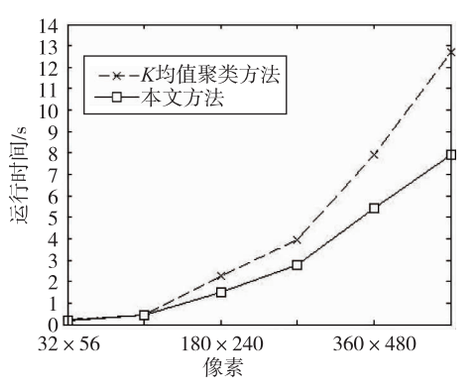


图 6　本文方法与 K 均值聚类方法运行时间比较

Fig. 6　Runtime comparision between the K-means clustering method and the proposed method

3　结论

本文提出的这种图像分割方法具有以下几个优

点:1)本文采用统计学的方法实现图像分割能够提高速度;2)采用 LFD 算法计算图像的分形维数可以提高后期图像分割的精度,天空、树木的交界处以及道路、树木的交界处能够被精确描述,还能够保留图像中一些重要的边界信息,方便后期应用. 本文方法的缺点是图像像素的分形维数容易受到光线角度的影响,需要以后进一步研究.

参考文献

References

[1] Mandelbrot B B, Passoja D E, Paullay A J. Fractal character of fracture surfaces of metals[J]. Nature, 1984, 308(5961): 721-722

[2] Peleg S, Naor J, Hartley R, et al. Multiple resolution texture analysis and classification[J]. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell, 1984, 6(4): 518-523

[3] Novianto S, Suzuki Y, Maeda J. Near optimum estimation of local fractal dimension for image segmentation[J]. Pattern Recognition Letters, 2003, 24(1/2/3): 365-374

[4] Mavroforakis M E, Georgiou H V, Dimitropoulos N, et al. Mammographic masses characterization bases on localized texture and dataset fractal analysis using linear, neural and support vector machine classifiers[J]. Artificial Intelligence in Medicine, 2006, 37(2): 145-162

[5] Yoshida H, Tanaka N. A new binarization method for a sign board image with the blanket method[C]// Chinese Conference on Pattern Recognition, 2009: 1-4

[6] Chen F, Ji G R, Cheng J N. Image edge detection based on improved local fractal dimension[C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Natural Computation, 2008: 640-643

[7] Ma L, Shan Y J. Integration of fractal and grey-level features for texture segmentation[C]// Congress on Image and Signal Processing, 2008: 687-691

[8] Zhao H X, Wang S C. Application of fractal mathematics in mode recognition and image processing[C]// International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, 2011: 536-538

[9] Theiler J. Estimating fractal dimension[J]. Journal of the Optical Society of America, 1990, 7(6): 1055-1073

[10] 梁东方,李玉梁,江春波. 测量分维的“数盒子”算法研究[J]. 中国图像图形学报:A 辑, 2002, 7(3): 40-44
LIANG Dongfang, LI Yuliang, JIANG Chunbo. Research on the Box Counting algorithm in fractal dimension measurement[J]. Journal of Image and Graphics: A, 2002, 7(3): 40-44

A new image segmentation method based on statistics and local fractal dimension

YE Xiaoling[1] LIU Tailei[1] HU Kai[1]

1 School of Information and Control, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

Abstract To improve the precision of image segmentation, a new method based on statistics and fractal dimension is proposed. This method can be used to segment natural images like tree, road and sky, furthermore, it can also be used in vision system of robot. The proposed method can be roughly divided into three steps, firstly, collect vast amount of Local Fractal Dimension(LFD) of tree, road and sky; secondly, analyze the LFD distribution characteristics of the three textures, which are mentioned above; finally, segment those three textures according to the distribution characteristics, and then, smooth and filter the image by using mathematical morphological methods. Compared with some other methods, experimental data show that this proposed method can improve the precision of segmentation by using LFD as the feature.

Key words statistics; local fractal dimension(LFD); the blanket method; image segmentation