

# 基于分形特征的复杂环境目标检测方法研究

伍妍妮, 潘 炼, 王 薇

(武汉科技大学 信息科学与工程学院, 武汉 430081)

**摘要:** 针对复杂的自然背景下的运动目标检测, 提出了一种基于分形特征的运动目标检测算法; 该算法利用目标的分形维数与自然背景分形维数的差异将目标从背景检测出来; 首先应用改进的地毯覆盖法快速得到图像的分形维数, 然后通过比较邻域之间分形维数的相互关系进行目标检测; 实验结果表明, 该方法能对复杂背景下的运动目标进行检测, 由于采用分块求分形特征的方法, 能有效地减少搜索目标所带来的计算量, 算法过程简单、检测速度快、检测结果精确, 目标与背景对比度的变化对检测结果几乎没有影响, 且噪声对该算法的检测结果影响较小; 在运动目标实时检测问题上有着很好的实用价值和应用前景。

**关键词:** 目标检测; 分形特征; 地毯覆盖; 分形维数

## A Research of Moving Target Detection under Complex Background Based on Fractal Feature

Wu Yanni, Pan Lian, Wang Wei

(College of Information Science & Engineering, Wuhan University of Science & Technology, Wuhan 430081, China)

**Abstract:** A moving target detection algorithm based on fractal feature is proposed, which is suitable for complicated nature background. First, the improved carpet cover method was used to get the fractal dimension of picture quickly. Second, the target was detected through the differences of fractal dimension between neighborhood. Experimental results show that the algorithm can detect a moving target under complex background, and has fast speed and accurate result, and this algorithm has good practical value and application prospect on moving target real-time detection.

**Key words:** target detection; fractal feature; carpet cover; fractal dimension

### 0 引言

随着人们安全意识的逐步提高以及计算机等技术的发展, 在生活中, 视频监控系统随处可见。目前市面上的监控设备, 监控效果基本能满足人们的日常生活需要。但这些监控大多用于生活中比较简单的场景, 可是还有很多需要监控的地点, 也是人们视线的盲点, 它们位于偏远地区, 自然环境复杂、恶劣, 人为监控非常困难。这些地方迫切需要一种可以在这种环境下承担监控任务的视频监控系统, 但目前还没有较好的方法, 能够很好地完成复杂背景下的视频监控。这是监控中的技术关键, 其中运动目标检测就是相当重要的一个环节。长期以来, 国内外有许多学者都致力于运动目标检测的研究, 也取得了许多令人瞩目的成就。其中, 比较经典的方法有: 光流法<sup>[1]</sup>、帧间差分法和背景差分法<sup>[2]</sup>、不变矩特征检测法<sup>[3]</sup>和背景消减法<sup>[4]</sup>等。这些方法在其特定的使用环境中, 都能够表现出各自的优越性, 但是由于复杂背景特有的复杂性和不确定性, 它们仍然存在一定的局限性, 而分形理论为自然界中看似无规则的自然现象提供了一个可供研究的框架。分形能够很好地反映自然现象, 如果将这种方法运用于目标检测, 不仅可以充分发挥它的优势, 而且对复杂背景下的运动目标检测来说,

也是一个比传统方法更有效的方法。实验结果表明利用分形理论对复杂背景下的运动目标进行检测, 减少了大量不必要的搜索过程与计算时间, 使检测效率更高。

### 1 分形理论

#### 1.1 分形理论概述

分形理论属于非线性科学, 有规则分形、不规则分形之分。在分形一词使用之前, 就有数学家提出过一些复杂的、不光滑的集合, 如: Koch 曲线、Weierstrass 型函数、Peano 曲线、Cantor 集、Sierpinski 缕垫、海绵等<sup>[5]</sup>。这些集合或事物有一个共同的特征, 即它们都具有严格的自相似性, 因此, 它们都属于规则的分形图形。而在自然界中还存在着更多的事物, 它们具有很强的随机性, 从表面上几乎看不出它们的规律, 如: 起伏不平的群山轮廓, 曲折蜿蜒的海岸线、复杂多变的布朗运动轨迹等。这类曲线也是不光滑、不规则的, 看似并没有自相似性。但是, 如果对它们仔细分析, 在一定的测量范围内, 它们也具有某种程度上的自相似性, 不过它们的自相似性只存在于某个标度区间, 超出标度范围, 则自相似性不复存在, 这类曲线被称为不规则分形<sup>[6]</sup>。

#### 1.2 地毯覆盖法

地毯覆盖法是测量分形维数的经典方法之一<sup>[7]</sup>。

以图像表面的某一点为中心, 由该点两侧距离不超过  $r$  的像素点组成一个厚为  $2r$  的“地毯”, “地毯”的高度为图像的灰度值。地毯覆盖法示意图如图 1 所示。

待估计的地毯的表面积可由地毯上、下表面间的体积除以  $2r$  得到。对于不同的  $r$ , 地毯表面面积的计算方法如下:

收稿日期: 2013-12-25; 修回日期: 2014-02-20。

作者简介: 伍妍妮(1987-), 女, 湖南新宁人, 工学硕士, 主要从事图像处理、智能检测技术等方向的研究。

潘 炼(1964-), 男, 湖北武汉人, 教授, 主要从事计算机过程控制、智能检测技术、单片机嵌入式系统等方向的研究。

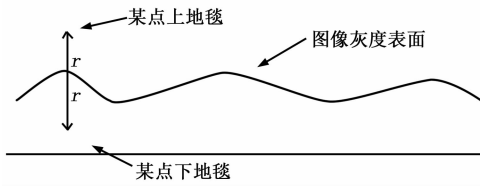


图 1 地毯覆盖法

设  $g(x, y)$  为图像的灰度函数。 $u_r(x, y)$  代表图像在  $(x, y)$  点处的地毯上表面,  $b_r(x, y)$  代表该点处地毯下表面, 定义为:

$$\begin{cases} u_r(x, y) = \max\{u_{r-1}(x, y) + 1, \max_{d[(x, y); (m, n)] \leq 1} [u_{r-1}(x, y)]\} \\ b_r(x, y) = \min\{b_{r-1}(x, y) - 1, \min_{d[(x, y); (m, n)] \leq 1} [b_{r-1}(x, y)]\} \end{cases} \quad (1)$$

式中,  $d[(x, y); (m, n)] \leq 1$  为图像中点  $(x, y)$  与点  $(m, n)$  之间的距离。则可以由此求出对应的地毯之间的体积  $V(r)$  和面积  $A(r)$ :

$$V_r = \sum_{x, y} [u_r(x, y) - b_r(x, y)] \quad (2)$$

$$A_r = \frac{V_r}{2r} \quad (3)$$

由于分形表面满足自相似性, 可得:

$$A_r = Fr^{N-FD} = Fr^{2-FD} \quad (4)$$

式中,  $F$  为常数,  $N$  为拓扑维数, 图像的拓扑维数为 2, 故这里  $N$  取 2。FD 为图像的分形维数。

对上式两边取对数得:

$$\log A_r = (2 - FD) \log r + \log F \quad (5)$$

则图像的分形维数 FD 可由下式求得:

$$FD = 2 - \frac{\log A_r - \log F}{\log r} \quad (6)$$

在  $\log A_r - \log r$  对数坐标系中, 通过最小二乘法可以求出直线的斜率, 这个斜率就是图像的分形维数 FD。

由此得出分形拟合误差计算公式:

$$e = \sum_{r=1}^n |\log A_r - (2 - FD) \log r - \log F| \quad (7)$$

## 2 基于分形特征的目标检测算法

分形维数是分形理论中最重要的参数, 它表征某一信号的复杂度。分形维数定量地反映了图像表面的粗糙程度, 由于自然背景和普通运动目标的表面粗糙度有所差别, 对应的分维不同, 因此可以根据这种固有差异性检测自然背景中的运动目标。

### 2.1 改进的地毯覆盖法

分形维数是分形图像最重要的参数, 它表示图像的纹理粗糙程度。我们所检测的小汽车等目标表面比较光滑, 对应的分形维数较低, 自然背景表面较粗糙, 对应的分形维数较高, 而目标边缘作为目标与背景的分界, 对应的分形维数最大。因此, 通过计算图像中各个像素点的分形维数值, 即可确定目标区域。这里, 为了能够快速得到图像的分形维数, 我们对地毯覆盖法进行了改进。改进的方法只需计算地毯的个数, 而不需要计算地毯的具体参数值, 大大减化了计算的复杂度。

用图像灰度表面作基本, 用与图像灰度表面起伏状态一致的地毯来覆盖这个基本, 地毯的范围与图像的灰度值范围

一致, 即 0~255。以一定的尺度  $r$  对地毯进行划分, 得到一些起伏一致且不相交的灰度层。不同尺度对应的划分结果不同, 如图 2 所示。

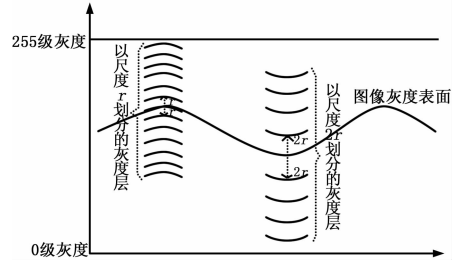


图 2 不同尺度灰度层划分

定义  $N(r)$  为以尺度  $r$  划分得到的灰度层个数, 在  $\log N(r) - \log r$  对数坐标中画出统计曲线, 然后求出图像的分形维数。具体步骤如下:

(1) 找出图像灰度表面中的灰度最大值和最小值, 用 255 减去最大灰度值所得到的差值与最小灰度值比较, 两者中较小的值便是以尺度  $r=1$  划分的最大的灰度层个数  $N_{max}$ 。

(2) 取不同的尺度  $r (r \in \mathbf{Z})$ , 由二维坐标系和以灰度值作为  $z$  轴所构成的三维空间中, 沿  $x$  轴剖面或  $y$  轴剖面得到不同的灰度层个数  $N(r)$ 。

(3) 将不同的  $N(r)$  和  $r$  在双对数坐标中表示出来, 再根据统计曲线, 用以下公式即可求出分形维数 FD:

$$FD = \frac{\log [N(r)]}{\log r} + 1 \quad (8)$$

由此, 可以按以下的公式计算出分形拟合误差:

$$e = \sum_{r=1}^n |\log [N(r)] - (FD - 1) \log (r)| \quad (9)$$

由于此方法只计算地毯个数而不需要计算地毯的具体值, 减化了计算步骤, 因此所需计算时间比传统地毯法至少减少了一半。

改进地毯法与传统地毯法比较如图 3 所示。

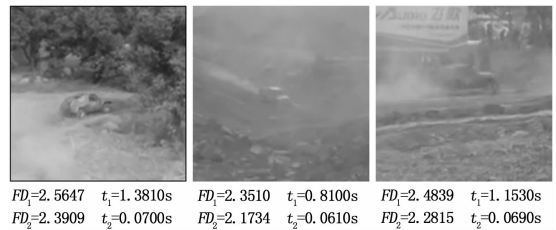


图 3 改进地毯法与传统地毯法图像分维计算结果

图 3 中,  $FD_1$  表示传统地毯法分形维数的计算结果,  $t_1$  表示对应的计算时间;  $FD_2$  表示改进的地毯法分形维数计算结果,  $t_2$  为对应计算时间。从以上结果可以看出, 两种算法对分形维数的计算结果都能够很好地反映图像的粗糙程度, 而计算同一幅图分形维数时, 改进的地毯法计算时间明显要少许多。

### 2.2 基于分形特征的目标检测算法

由前面的叙述可知, 在一帧图像中, 目标表面的分形维数较低, 自然背景分形维数较高, 而目标边缘的分形维数最高。根据这个特点, 这里提出一种通过比较邻域之间分形维数的相互关系进行目标检测的方法, 将改进的地毯法用于计算各个区

域的分形维数。检测具体步骤如下:

(1) 定义一个  $n \times n$  的窗口对图像进行划分;

(2) 用改进的地毯法公式 (8) 计算划分的每个区域的分形维数  $FD$ , 获取其中分形维数值较小且其邻域具有较大分形维数的区域;

(3) 根据公式 (9) 计算所选区域的拟合误差, 获取拟合误差较大的区域, 拟合误差越大的区域存在目标的可能性越大;

(4) 将所选区域适度放大, 得到一个新的搜索区域, 用窗口在该区域按一定步长移动, 计算局部分形维数和拟合误差, 最后所得拟和误差最大处即为目标的最佳位置。

### 3 仿真

(1) 取一幅大小为  $192 \times 192$  的图像, 用大小为  $10 \times 10$  的窗口对图像进行划分。原始图像、灰度图像、灰度分布图分别如图 4~6 所示。



图 4 原始图像



图 5 灰度图像

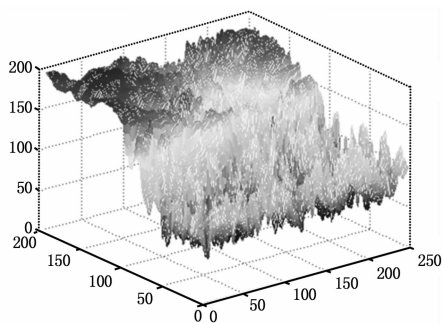


图 6 灰度分布图

(2) 用改进的地毯法计算每个窗口的分形维数, 各窗口分形维数分布如图 7 所示。

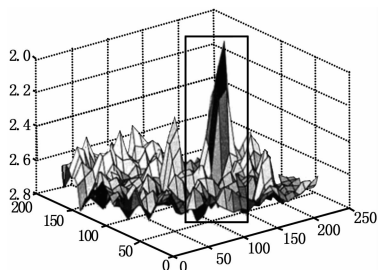


图 7 改进地毯法求得各窗口分形维数分布图

(3) 选出其中分形维数较小且与其相邻的窗口具有较大分形维数的窗口。如图 7 中矩形框所表示区域。计算所选窗口的拟合误差。

(4) 拟合误差较大的窗口区域是目标的概率最大。选出拟合误差最大的窗口组成的区域, 将所选区域适度放大, 再回到步骤 (2) 继续执行, 最终确定目标区域。

基于分形特征的目标检测结果如图 8 所示。

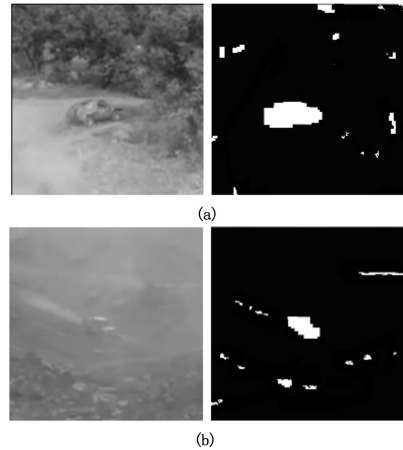


图 8 基于分形特征的目标检测

图 8 中 (a) 和 (b) 是分别对两幅图像进行仿真所得到的效果。对比可见, 两幅图的清晰度有十分明显的差异, 图 (a) 比较清晰, 目标与背景很容易地区分; 图 (b) 比较模糊, 背景的干扰导致目标与背景的分不明显。但从两组仿真结果可以看出, 该方法可以有效抵抗背景的干扰, 对目标的检测比较准确, 检测结果比较好。

### 4 结论

本文通过分析, 提出了一种基于分形特征的运动目标检测算法, 该算法利用目标的分形维数与自然背景分形维数的差异将目标从背景中检测出来。通过邻域对比法, 验证了该算法对复杂背景下运动目标的高识别能力, 高效率及高准确性。

#### 参考文献:

- [1] Gokhan Koray Gultekin, Afsar Saranlı. An FPGA based high performance optical flow hardware design for computer vision applications [J]. *Microprocessors and Microsystems*, 2013, 21 (1): 60-65.
- [2] 朱明早, 罗大庸, 曹倩霞. 帧间差分与背景差分相融合的运动目标检测算法 [J]. *计算机测量与控制*, 2005, 13 (3): 215-217.
- [3] Meyer D, Denzler J and Niemann H. Model based extraction of articulated objects in image sequences for gait analysis [A]. In *Proc IEEE International Conference on Image Processing* [C], Santa Barbara, California, 1997: 78-81.
- [4] P. Kaewtrakulpong, R. Bowden. An improved adaptive background mixture model for real-time tracking with shadow detection [J]. In *2nd European Workshop on Advanced Video Based Surveillance Systems*, 2001, 21 (2): 40-45.
- [5] 孙霞, 吴自勤, 黄响. 分形原理及其应用 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2003.
- [6] Kenneth Falconer. 分形几何——数学基础及其应用 [M]. 曾文曲, 刘世耀译. 沈阳: 东北大学出版社, 1991.
- [7] 曾鹏鑫. 基于分形的人造目标与自然物体区别 [J]. *东北大学学报 (自然科学版)*, 2006, 27 (3): 260-263.