

一种基于变差函数的纹理图像分割方法

吴 刚, 杨敬安, 王洪燕

(合肥工业大学人工智能研究所, 合肥 230009)

摘 要: 本文基于变差函数提出一种图像纹理分割的新方法. 由于变差函数反映图像数据的随机性和结构性, 因而能很好的表达纹理图像的特征. 文中算法根据变差函数的这种性质将单步长变差函数值作为图像纹理特征进行分割, 实验结果表明它对纹理图像分割与识别是十分有效的.

关键词: 变差函数; 图像分割; 纹理特征

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2001) 01-0044-04

An Algorithm for Segmentation of Texture Image Based on Image Variogram Function

WU Gang, YANG Jing-an, WANG Hong-yan

(Artificial Intelligence Institute, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: This paper proposes a novel algorithm for segmentation of texture image based on variogram function. Texture feature obtained by the function can characterize randomness and structure of texture. The variogram value and the variable distance calculated by the variogram function are used for the segmentation of texture image. This method is proved to be feasible and effective by experiments.

Key words: variogram function; segmentation of image; texture feature

1 引言

纹理图像分割在图像处理、计算机视觉、医疗图像分割中都具有十分重要的意义, 纹理图像的分割就是根据纹理特征描述将图像分为几个区域. 现有的纹理分割方法都可以根据纹理描述进行分类^[1], 一般可以分为两类: 结构方法和统计方法. 在结构方法中, 纹理被认为是图像某种尺度的重复或近似重复, 这种方法有 Fourier 频谱分析法^[2], 形状分析法^[3]等. 但是结构方法只适用一些较规则的简单人造纹理, 对复杂的自然纹理无法分析. 在统计方法中, 通过对图像灰度空间分布分析获得纹理的统计特征, 如从共生矩阵获得纹理的 Haralick 特征等. 近年来, 马尔可夫随机场 (MRFS) 在纹理分割中证明是很有效的. 但是这种方法是一种有监督的方法, 必须已知纹理的数目及相应的参数, 这限制了该方法的应用. 有的文献提出了非监督的 MRFS 方法, 如文献[4]提出的用遗传算法优化挑选参数, 而这种方法对较大的纹理图像处理运算量过大, 难以实时处理. 事实上, 现有的许多方法都没有充分考虑图像数据的随机性和空间相关性, 因而难以很好的描述纹理的特征.

本文基于图像的变差函数提出了一种描述图像纹理特征的新方法. 变差函数能较充分反映图像数据的随机性和结构性, 变差函数的单步变差函数值描述图像空间相邻两点的统

计特征, 因而不同的纹理有不同的变差函数值, 本文在理论上证明了把它作为纹理描述进行图像分割具有方向不变性, 经实验表明在无监督情况下本算法能有效分割出不同的纹理, 而且分割的纹理边界也十分精确.

2 基于图像的变差函数分析

变差函数理论由应用数学专家 G. Matheron 教授 1962 年创立. 变差函数理论不仅考虑区域化变量的随机性而且考虑数据的空间结构特征. 显然, 图像数据不是纯随机变量, 它具有明显的结构特征, 可以把图像数据点看作区域化变量.

区域化变量是既有随机性又有结构性的变量, 定义区域化变量 $Z(x)$ 在 $x, x+h$ 两点处的值之差的方差之半为 $Z(x)$ 在 h 方向上的变差函数, 即:

$$r(x, h) = (1/2) \text{Var}[Z(x) - Z(x+h)] = (1/2) E[Z(x) - Z(x+h)]^2 - (1/2) \{E[Z(x)] - E[Z(x+h)]\}^2$$

定义 $Z(x)$ 在 $x, x+h$ 两点的两阶混合中心矩为协方差函数, $C(x, x+h) = E[Z(x)Z(x+h)] - E[Z(x)] \cdot E[Z(x+h)]$. 若区域化变量 $Z(x)$ 在整个区域满足本征假设 (即 $E[Z(x)]$ 为常数, 协方差函数与 x 无关. 对于纹理图像, 由于它们都是

纹理元的某种程度的重复,因而这种假设是合理的),则变差函数、协方差函数分别为

$$r(h) = (1/2) E[Z(x) - Z(x+h)]^2 \quad (1)$$

$$C(h) = E[Z(x)Z(x+h)] - \{E[Z(x)]\}^2 \quad (2)$$

$Z(x)$ 满足本征假设即 $E[Z(x)]$ 为常数,因而 $E[Z(x+h)]$ 也为常数. 不难证明^[5]下式成立:

$$r(h) = C(0) - C(h) \quad (3)$$

协方差函数 $C(h)$ 表示任意相距为 h 的两点的相关程度,显然当 h 越大时,这种相关程度越小, $C(h)$ 也越小,当 h 充分大时,就完全不相关了,即存一定值 a ,当 $h \geq a$ 时,有

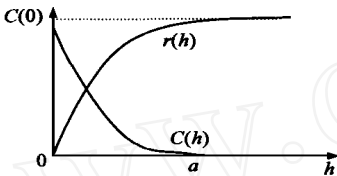


图 1 $r(h)$ 和 $C(h)$ 关系图

$C(h) = 0$. 这表明相距大于 a 的两个区域化变量是不相关的. 由式(3)有: $r(a) = C(0) - C(a) = C(0)$, a 称为 $r(h)$ 的变程,它反映了区域化变量影响的范围. 图 1 显示了 $r(h)$ 和 $C(h)$ 的关系. 变差函数是无法直接获得的,因而在实际应用中用实验变差函数 $r^*(h)$ 表示:

$$r^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \quad (4)$$

其中, h 为某方向上两点的距离, $N(h)$ 为所有相距为 h 两点的点对数目. 在 $h - r^*(h)$ 直角坐标系上标出诸点 $(h, r^*(h))$, 再用线段连接起来即得实验变差函数图. 变差函数的变程是描述区域化变量的重要参数,为了自动获得变差函数曲线,求出变程,可以采用下式对实验变差函数进行拟合:

$$r(h) = \begin{cases} 0, & h = 0 \\ C_0 + C\left(\frac{3}{2} \frac{h}{a} - \frac{1}{2} \frac{h^3}{a^3}\right), & 0 < h \leq a \\ C_0 + C, & h > a \end{cases} \quad (5)$$

其中, C_0, C 为常数, a 为变程. 实际只需讨论 $0 < h \leq a$ 的拟合问题,令 $r(h) = y, h = x_1, h^3 = x_2, C_0 = b_0, 3C/2a = b_1, -C/2a^3 = b_2$ 则有: $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2$. 用该式拟合实验变差函数,以式(4)的 $N(h)$ 作为权值,由数理统计中的加权二元线性回归算法计算出参数 b_0, b_1, b_2 . 然后计算出变程 $a = \sqrt{-b_1/(3b_2)}$, 如果 $b_1b_2 < 0$, 则说明实验变差函数是线性模型,它反映该图像区域结构性差,因而应给变程赋以较小的值.

3 纹理图像的分析

3.1 纹理变程

定义 1 称 $r^*(h)$ 在 $h=1$ 时为单步变差值, $h=k(k=2, 3, \dots)$ 时, $r^*(k)$ 为 k 步变差值. 有些纹理图像数据有某种程度的周期性,假设其周期大小为 f .

定义 2 称有周期性的纹理图像变差函数 $r^*(h)$ 的第一个极小值点所对应的 h 值为纹理图像变差函数的纹理变程,记为 wa .

定义 3 计算以图像某一像素点为中心的 $l \times l$ 窗户内的纹理图像变差函数值及变程,分别称之为该像素点的变差函

数值和变程.

定理 1 纹理图像变差函数 $r^*(h)$ 的纹理变程 wa 等于纹理的周期 f . 且 $h=wa$ 为 $r^*(h)$ 的第一个极小值点.

证明 不失一般性,假设纹理图像数据矩阵为一维向量,由于纹理的周期为 f , 因而有: $Z(x_i) = Z(x_i + f)$

$$r^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h+f)]^2 = r^*(h+f) \quad (6)$$

其中, $Z(x_i)$ 是点 x_i 的值. 理论变差函数 $r^*(h)$ 是一条单调递增的曲线,反映出区域化变量随着空间距离的增加不相关程度逐渐增大趋于一定值,但是对于有周期性的纹理图像,变差函数曲线表现为类似于正弦函数曲线的周期性. 由式(6)有 $r^*(0) = r^*(f)$, $r^*(0)$ 表示区域化变量自身的相关程度,因而 $r^*(0)$ 取最小值, $r^*(f)$ 为 $r^*(h)$ 的第一个极小值,即 $r^*(h)$ 在 $h=f$ 取极小值点,纹理图像变差函数的变程 $wa=f$.

图 2(a) 为四种纹理拼接的原始图像,图 2(b) 为左上角纹理图像一个窗口大小为 9×9 区块的水平变差函数曲线,可以看出该区域纹理的变程为 6. 这为图像窗口大小的选取提供了理论依据. 为了获得稳定的实验变差函数,图像窗口的边长应大于变程. 可通过试算几个较大图像窗口的变差函数求得,实验表明对大多数纹理图像窗口大小一般取为变程的两倍最为理想,但是为了减少计算量,可以取的略小. 事实上,图像分块过大,不仅迅速增大计算量,而且使纹理边缘定位变得不够精确. 本文采用 Gauss 函数对变差函数曲线进行平滑,根据其一阶导数计算第一个极小值点,从而求得其变程. 对于无周期性的不存在纹理变程的图像,则根据图像变差函数的变程选取窗户的大小.

3.2 单步变差函数值的纹理分割算法

设纹理图像一像素点的灰度值用 $f(x_i, y_j)$ 表示,则 x, y 方向上的单步变差函数值分别为:

$$r_x^*(1) = \frac{1}{2N(1)} \sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^l [f(x_i, y_j) - f(x_i+1, y_j)]^2 \quad (7)$$

$$r_y^*(1) = \frac{1}{2N(1)} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^l [f(x_i, y_j) - f(x_i, y_j+1)]^2 \quad (8)$$

其中, l 为纹理图像窗口边长的大小, $N(1)$ 表示窗口内所有相距为 1 的点对数目.

单步变差函数值反映相距为单位长度的变量的统计特征,因而对不同的纹理应有不同的单步变差函数值. 为了获得与方向无关的变差函数,充分利用 x, y 方向的信息,对获得的变差函数值进行加权处理,即 $r_x^*(1) \cos^2 \partial + r_y^*(1) \sin^2 \partial$, 记作 $r^*(1)$. 其中 $\tan \partial = a_1/a_2$; a_1 与 a_2 为待分割的原始图像 x, y 方向变差函数的变程,这可由式(5)得到. 把 $r^*(1)$ 作为纹理的特征描述进行纹理分割. $r^*(1)$ 有下面的性质:

定理 2 单步变差函数值 $r^*(1)$ 当 x 和 y 方向变差函数的变程相等时具有方向不变性.

证明 $f(x, y)$ 在 (x_i, y_j) 点 x 方向上的一阶差分为 $f(x_i, y_j) - f(x_i+1, y_j)$, 因而式(7)和式(8)可分别改写为:

$$r_x^*(1) = \frac{1}{2n(1)} \sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^l \left(\frac{\partial f}{\partial x}(x_i, y_j) \right)^2$$

$$r_y^*(1) = \frac{1}{2n(1)} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^l \left[\frac{\partial f}{\partial y}(x_i, y_j) \right]^2$$

将 $f(x, y)$ 在图像窗口内 x 和 y 方向的一阶偏导数分别组合相加可得:

$$r^*(1) = \frac{1}{2N(1)} \sum_{N(1)} \left[\left(\frac{\partial f}{\partial x}(x, y) \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}(x, y) \right)^2 \right] \quad (9)$$

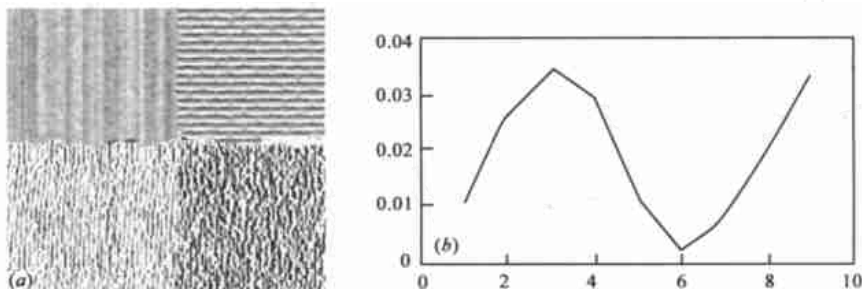


图2 纹理图像和变差函数曲线。(a)原始图像;(b)一像素点的变差函数曲线;(c)分割结果:

分别用灰度 64, 180, 239, 116 表示左上, 右上, 左下, 右下分割的纹理区域

待分割的组合纹理图像的水平垂直方向变差函数的变程一般相差不大, 但是, 如果此两方向的变程相差较大, 则可对原始图像旋转一定角度, 使其水平与垂直方向的变程相差较小, 因而 $r^*(1)$ 可近似看作与方向无关的。由于相同的纹理图像像素点应有近似相等的 $r^*(1)$, 因而可采用区域增长法、多阈值直方图分割法等现有的一些图像分割方法分割纹理图像。具体算法如下:

(1) 随机选取 10 个图像像素点, 分别以其为中心, 取大小为 11×11 的窗口;

(2) 计算所选取的像素点的水平和垂直方向的变差函数, 根据 3.1 节的方法计算每个像素点的纹理变程, 取纹理变程的最大值, 如果纹理变程不存在, 则求取纹理图像变差函数的变程, 记为 m 。如果 m 大于 11, 则令 m 为 11, 如果 m 为奇数, 则令 $l = m + (m+1)/2$, 否则, 令 $l = m + m/2 + 1$;

(3) 根据式(5)计算整幅图像的水平方向和垂直方向的变差函数的变程, 分别记为 a_1 和 a_2 , 如果 a_1 和 a_2 相差较大, 则将图像旋转 45° 重新计算 a_1, a_2 , 令 $\text{tg}\theta = a_1/a_2$ 。

(4) 以像素点为中心取大小为 $l \times l$ 的窗口, 根据式(7)和式(8)计算所有图像像素点的单步变差函数值, 获得水平方向和垂直方向的单步变差函数图像矩阵;

(5) 根据 3.2 节的方法计算每个像素点的变差函数值 $r^*(1)$, 得到纹理图像的特征描述矩阵 M , 用多阈值直方图分割法对图像矩阵 M 进行分割, 形成最后的纹理分割图像。

4 实验结果

图 2(a) 是一幅灰度为 256 级, 大小为 159×171 的纹理图像, 由四幅纹理拼接而成, 采用 9×9 窗口分别计算水平方向, 垂直方向的单步变差函数值。图 2(c) 为用本方法得到的纹理分割图。分割出的每种纹理用一种灰度表示, 共用四种灰度分别表示分割出的纹理区域。图 3(a) 为大理石, 橡树纹的拼接图, 灰度级为 256, (b) 为分割后的纹理区域图。图 4(a) 为牛皮, 草席, 木纹, 和垫子的拼接图, (b) 为分割后的纹理区域

其中 $N(1)$ 为窗口内的所有相邻点对数的数目, (x, y) 为窗口区域内的一点。设 (x, y) 旋转变换成点 (x', y') , 容易证明:

$$\left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x'} \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y'} \right)^2 \quad (10)$$

由式(10)可知当 x, y 方向的变程近似相等时, $r^*(1)$ 为各向同性的, 与变差函数选取的方向无关。

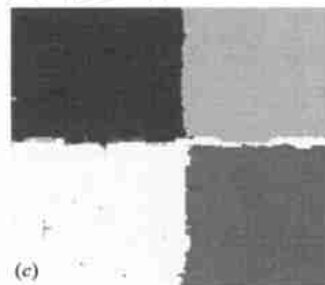


图. 从分割的结果可以看出, 本文方法可将各种纹理完整分割出来, 并且边界定位准确。

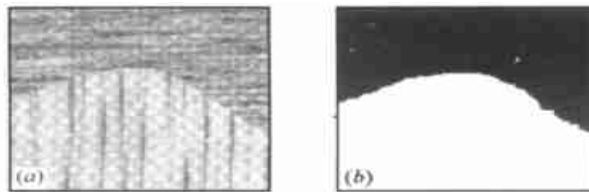


图3 (a)为原始图像;(b)为分割后的图像

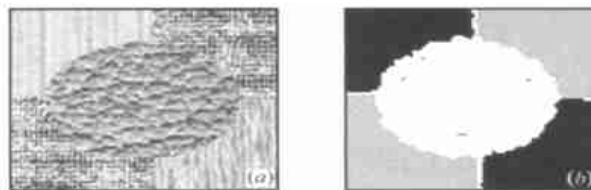


图4 (a)为原始图像;(b)为分别用三种灰度表示四种纹理分割的结果图像

5 结论

本文基于图像变差函数给出了一种确定纹理分割的方法, 取得了较满意的效果。变差函数不仅反映数据的随机特征而且反映数据的结构特征, 这正是本方法优于现有大多数纹理分割方法的原因所在。由于纹理图像的变程是整幅图像的统计特征, 因而无论对自然纹理还是人造纹理, 都可以计算出纹理图像的变程并据此计算出变差值, 因此本方法对人造纹理以及大多数自然纹理的分割效果都是很有有效的, 本文的试验也证明了这一点。本方法有严密的数学理论基础, 不需要先验知识, 且分割算法与选取的方向无关, 方法运算速度快, 可以实时处理, 检测出的边界也非常精确。由于受图像分块的影响, 纹理边缘可能表现为锯齿状或两条狭窄的平行曲线, 显然纹理边缘正在这两条曲线的中心线上, 可通过平滑滤波或根据所取窗口的大小进行后处理工作精确定位边缘, 这有待进一步的工作。

参考文献:

- [1] T. R. Reed and H. J. M. du Buf. A review of review of recent texture segmentation and feature extraction techniques [J]. CVGIP: Image Understanding, 1993, 57(3): 359-372.
- [2] Dong-Chen He and Li Wang. Detecting texture edges from images [J]. Pattern Recognition, 1992, 25(6): 595-600.
- [3] Varlery V. Starovoitov, Sang-Yony Jeony. Texture periodicity detection: features, properties and comparison [J]. IEEE Trans. On SMC-Part A SM, 1998, 28(6): 839-849.
- [4] Anil K. and Farshid Farrokhnia. Unsupervised texture segmentation using gabor filters [J]. Pattern Recognition, 1991, 24(12): 1167-1186.
- [5] Journal A. G. and Huijbregts Ch. J. Mining Geostatistics [M]. London: Academic Press, 1978.
- [6] Philippe Andrey and Philippe Tarroux. Unsupervised segmentation of markov random field modeled textured images using selectionist relaxation [J]. IEEE Trans. On PAMI, 1998, 20(3): 252-261.
- [7] Hsi-chin Hsin and Ching-Ching Li. An experiment on texture segmentation using modulated wavelets [J]. IEEE Trans. On SMC-Part A SM, 1998, 28(5): 720-725.
- [8] 杨敬安, 张冀成. 三维计算机视觉 [M]. 合肥: 安徽教育出版社, 1994.

- [9] 张瞻, 侯杰昌, 廖孟扬. 基于“势”最大化的纹理分析方法 [J]. 电子科学学刊, 1999, 21(3): 315-319.

作者简介:



吴 刚 现在合肥工业大学攻读计算机应用博士学位. 主要研究方向为图像理解, 多媒体数据库, 模式识别等.



杨敬安 合肥工业大学教授, 博士生导师, IEEE 高级会员, 纽约科学院 Fellow Academy Member. 主要研究图像理解, 模式识别, 计算机视觉, 人工智能与知识工程, 进化计算与进化机器人等.

中国电子学会第七届青年学术年会

征 文 通 知

2001 年 8 月, 乌鲁木齐

主办单位: 中国电子学会

承办单位: 中国电子学会青年工作委员会

国家广电总局广播科学研究院

国家广电总局广播影视信息网络中心

中国电子学会第七届青年学术年会(简称:CIE YC 2001)将于 2001 年 8 月在新疆乌鲁木齐召开. 这是一次广泛团结广大青年科技工作者, 促进电子信息及其相关学科青年学者学术交流的盛会, 届时还将邀请国内著名专家学者作综述或专题报告, 组织专题讨论并评选优秀论文.

会议主题: 信息技术与数字化、网络化

征文范围:

A: 信息技术发展及展望

B: 广播电视技术发展及展望

C: 信息高速网络与有线电视

D: 系统工程与应用

E: 数字信号处理

F: 通信技术及应用

G: 广播电视技术及应用

H: 卫星通信与卫星广播

I: 多媒体与虚拟现实

J: 计算机技术与应用

K: 人机自然交互技术

L: 模式识别与图像处理

M: 电子技术及应用

N: 光电子技术

O: 自动控制与自动化

P: 电磁场与微波技术

Q: 器件、电路与系统

Z: 其它

来稿要求:

1. 理论联系实际, 内容具体, 突出作者的工作与结果, 具有较重要的学术价值和应用推广价值, 未在国内外公开发行的刊物或全国性的学术会议上发表或宣读过.

2. 第一作者年龄不超过 40 岁, 文末附不超过 100 字的第一作者简介.

3. 来稿时请在论文背后注明论文所属征文范围中的类别号 1 至 2 个, 并在信封上注明征文字样.

4. 录用的论文拟请出版社正式出版论文集. 投稿方式为

全文投稿方式, 每篇论文篇幅限为 4 页(超过者加收版面费). 寄送论文请用 WORD 排版, 激光打印, 投稿时请寄送两份, 并要求随文附寄软盘. 论文第一页正文前应写: 论文题目、作者姓名、作者单位、邮政编码、E-mail 地址及摘要.

重要时间: 论文截止时间: 2001 年 4 月 15 日

录用通知: 2001 年 5 月 15 日前发出 会议时间: 2001 年 8 月

询问与投稿地址:

100866 北京复外大街 2 号广播科学研究院 王羽 周志强
电话: (010) 66091825 66091818 E-mail: abswangyu @263.net