

基于 Gabor 滤波器的遥感图像纹理查询方法

胡 杨, 周 焰

(空军雷达学院信息与指挥自动化系, 武汉 430019)

摘 要: 介绍了一种基于 Gabor 纹理特征的遥感图像检索方法。利用 Gabor 滤波器对图像进行多分辨率分解, 提出了一种改进的基于滤波图像及图像能量的纹理特征提取方法, 利用尺度、方向、纹理结构构成特征向量, 使用归一化欧氏距离进行了相似性判断。该方法计算过程简单、快速, 提高了方向判别的可靠性。仿真实验和实际运用验证了该算法的有效性。

关键词: Gabor 小波; 基于内容的图像检索; 纹理描述符; 遥感图像

Method for Remote Sensing Image Texture Retrieval Based on Gabor Filter

HU Yang, ZHOU Yan

(Dept. of Information & Command Automation, Air Force Radar Academy, Wuhan 430019)

【Abstract】 Using Gabor wavelet texture features, this paper proposes a content-based retrieval algorithm on remote sensing images. A descriptor of sensing image texture feature, in which the scale, direction and structure of texture are combined, is introduced, and guarantees the reliability of distinguishing on texture structure direction. The similarity between query and remote sensing images is computed by using normalized Euclidean distance. The algorithm can be executed faster than others based on Gabor wavelet because of the feature representation and similarity computing. The emulation and application show its effect.

【Key words】 Gabor wavelet; Content-based image retrieval; Texture descriptor; Remote sensing image

1 概述

近年来, 随着各种军用、民用卫星日益增多, 遥感图像数量急剧增长。对于依赖高空间分辨率遥感图像对地面目标进行侦察的任务来说, 从大量的遥感图像中找出感兴趣的图像以及从复杂的遥感图像中找到感兴趣的目标, 日益成为一项繁琐与沉重的工作。因此, 亟需建立一种对遥感图像数据库有效的快速查询方法。

在医学图像、多媒体等领域, 基于内容的图像检索已经取得了大量研究成果, 并在一些原型和商业系统中得到成功应用^[1,2], 但针对遥感图像的研究相对较少。很多研究人员正在探索使用纹理来研究基于内容的图像检索^[3,4,6]。如: 基于随机场的模型和多尺度滤波的研究方法, Smith和Chang从小波子波段中提取统计特征作为图像的纹理表示, 取得了很好的检索效果; 利用小波分析的方法, Chang和Kuo探索了小波中波段的特征, 采用树结构小波变换来进一步提高图像分类能力的准确度, 但树结构小波难以确定高频分解的平衡点, Ma和Manjunath评价了各种小波变换形式, 发现基于Gabor基小波变换的纹理检索方法的效果最好。利用图像的纹理特征值来标识图像能够较客观地反映图像的实际内容, 减少外界影响, 这样的数值标识既便于存放又利于检索。

本文采用 Gabor 纹理特征的检索方法, 通过 Gabor 小波多尺度分解系数提取图像的纹理特征, 文献[11]利用自相关系数对滤波图像处理, 取得了比较好的效果。在文献[11]描述的感知浏览描述符的基础上, 本文提出一种改进的遥感图像纹理描述符。它的主要特征是: (1) 不仅可以以纹理方向、结构、纹理结构的方式捕获高频部分感知特征, 也在尺度和方向上有稳健的定量描述; (2) 纹理提取比较简单, 利用一组

模型对图像进行旋转, 可以用硬件和软件来有效地实现; (3) 计算过程更加简单, 有利于节省计算时间, 并且保留了尺度计算后该尺度上完整的滤波图像, 保证了方向计算的可靠性。本文用归一化欧氏距离作为图像相似性测度。

2 Gabor 函数与 Gabor 小波变换

2.1 Gabor 变换的特点

生物学和心理物理学说明, 人类的初级视觉系统可以通过响应不同频率和方向的带通滤波器来实现。由于二维 Gabor 小波变换较好地描述了生物视觉神经元的感受野问题^[7], 可以根据特定的视觉需要相应地调整它的空间与频率特性, 因此适用于纹理图像的分析与处理。Gabor特征已经在许多图像分析和处理中得到应用, 例如纹理分析和分割^[8]、图像识别^[9]、图像检索^[7]等。它的特点包括:

(1) Gabor 变换最符合人类的视觉机理。现行神经元的—个突出特征是按对称形式成正交相位对, 邻近的简单细胞具有响应相同空间位置和方向相差 90° 的感受野, 这一对神经元感受野之间的正交相位关系可以用 Gabor 滤波器的实部和虚部来实现;

(2) Gabor 变换已被证明在 2-D 测量不准确的情况下, 对信号空间域和频率域的最佳描述。这些滤波器可以当作方向和尺度都可以变化的边缘和直线检测器, 实现对纹理特征的精细分析和提取;

(3) Gabor 变换可将图像分解为一系列频道, 充分利用各

作者简介: 胡 杨(1982 -), 女, 硕士生, 主研方向: 图像检索, 数据融合; 周 焰, 博士后、教授

收稿日期: 2006-11-21 E-mail: yangzi190099@sohu.com

个分解层次上的精确描述信息，形成有效的特征矢量。

2.2 Gabor 小波函数

Gabor 小波是将 Gabor 基函数经过移位、旋转和比例变换后得到的一组相似 90° 相移的 Gabor 函数。一个二维 Gabor 函数 $g(x, y)$ 及它的傅立叶变换 $G(u, v)$ 可以写成

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

$$G(u, v) = \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{(u-W)^2}{\sigma_u^2} + \frac{v^2}{\sigma_v^2} \right] \right\} \quad (2)$$

其中， $\sigma_u = 1/2\pi\sigma_x$ ， $\sigma_v = 1/2\pi\sigma_y$ 。W 为高斯函数的调制频率， $g(x, y)$ 是经过复数正弦函数调制的高斯函数。令 $g(x, y)$ 为母小波，可通过下列函数膨胀、旋转 $g(x, y)$ 获得一组自相似滤波器(称为 Gabor 小波)，即

$$g_{mn}(x, y) = a^{-m} g(x', y'), a > 1, m, n \in Z \quad (3)$$

其中

$$\begin{aligned} x' &= x \cos \theta + y \sin \theta \\ y' &= -x \sin \theta + y \cos \theta \\ \theta &= n\pi/K, n = 0, 1, \dots, K-1 \end{aligned}$$

K 为所有的方向数，式(3)中的尺度因子 a^{-m} 确保总能量独立于 m 。

给定一幅图像 $I(x, y)$ ，则它的离散 Gabor 小波变换定义为

$$W_{mn}(x, y) = \sum_x \sum_y I(x-x_1, y-y_1) g_{mn}^*(x_1, y_1) \quad (4)$$

其中，*表示复数共轭，它假设局部纹理区域在空间上是同性质的。 x_1 、 y_1 是滤波器模板大小的变量。本文为了加快运算速度，实现卷积采用的方法，先将 Gabor 函数的傅立叶变换形式与检索图像的傅里叶变换形式相乘，然后将结果傅立叶反变换回去。

3 特征提取与特征计算

在 MPEG-7 标准中一共考虑 5 类基本视觉特征，相对应 5 类基本描述符^[10]。其中纹理描述符包括同质纹理、纹理浏览、边缘直方图等。根据这一标准，采用尺度、方向、纹理结构构成特征向量，提出一种改进的遥感图像纹理描述符，以利于查询的快速进行。

3.1 确定尺度

形状特征和纹理特征在不同比例尺的遥感图像中有不同的意义，因为在大比例尺遥感图像中的形状特征可能在小比例尺中表现为纹理特征，甚至特征消失，所以人们在主观上很难选择一个尺度作为主要尺度，而用选择清晰、中等或粗糙这样的表达会更方便。

首先利用滤波图像确定图像的两个主要尺度，文献[11]中有详细描述。我们对每一个滤波图像计算它沿水平方向投影 $P_H^{(mn)}$ 和垂直方向的投影 $P_V^{(mn)}$ 。它们都是 $1 \times N$ 的向量，标准化自相关函数定义为

$$NAC(k) = \frac{\sum_{m=k}^{N-1} P(m-k)P(m)}{\sqrt{\sum_{m=k}^{N-1} P^2(m-k) \sum_{m=k}^{N-1} P^2(m)}} \quad (5)$$

通过检测 $NAC(k)$ 的局部最高点和最低点可以确定滤波图像的投影对比度。投影对比度反映了纹理图像对滤波器响应大小。令 M 为峰值的数量， N 为最低点的数量。令 $p_posi(i)$ 、 $p_magn(i)$ ，($i=1, 2, \dots, M$) 分别为峰值点的位置和数值。相应地，令 $v_posi(j)$ 、 $v_magn(j)$ ，($j=1, 2, \dots, N$) 为最低点的位

置和数值。投影对比度定义为

$$contrast = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M p_magn(i) - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N v_magn(j) \quad (6)$$

峰值分析：给定一个峰值序列 $p_posi(i)$ 包括所有投影后探测到的峰值，数量是 M ，这些连续峰值的平均距离是 dis ，计算出这一距离的标准偏差的平方根是 std 。令

$$\gamma = \frac{std}{dis} \quad (7)$$

当 γ 不为 0 时，峰值之间距离的低变化率反映了重复纹理的一致性。可以设一阈值来区分规则和 irregular 的纹理。如果 γ 小于 T_p ，相应的投影代表了重复的或规则的纹理。通过 γ 阈值选择找到最大的投影对比度，这样可以确定图像的 2 个主要尺度 C_1 和 C_2 。

3.2 确定方向

利用系数幅度序列确定纹理的主方向，在不同方向和尺度上计算变换后的系数幅度序列，这些系数幅度值在不同方向和尺度上表征了图像的能量，即

$$E_{mn} = \sum_x \sum_y |W_{mn}(x, y)|, m, n = 1, 2, \dots \quad (8)$$

系数幅度序列的均值 μ_{mn} 和标准方差 σ_{mn} 分别为

$$\mu_{mn} = \frac{E_{mn}}{M \times N} \quad (9)$$

$$\sigma_{mn} = \frac{\sqrt{\sum_x \sum_y (|W_{mn}(x, y)| - \mu_{mn})^2}}{M \times N} \quad (10)$$

令 $\alpha_1\beta_1$ 和 $\alpha_2\beta_2$ 分别为尺度 C_1 和 C_2 上 2 个最大的均值，由于它们代表对滤波器响应最大的方向，因此可以确定为特征向量中的方向参数。

3.3 确定结构性

在确定纹理结构时，文献[11]采用选择决策树分类器^[5](option decision tree classifier)计算，该计算过程繁琐，且参数不好确定。本文利用系数幅度序列大大简化计算过程。在选定尺度上对均值 μ_{mn} 求方差，由于纹理图像在不同方向滤波器上响应不同，因此方差越小代表该图像纹理对各个方向滤波器的响应相似，能量均匀；方差越大代表该图像具有某一特定方向的纹理特征。

分别在尺度 C_1 和 C_2 上求 μ_{mn} 的均值和方差，得到 μ_{C_1} 、 μ_{C_2} 、 std_{C_1} 、 std_{C_2} 。

令 $\lambda = \frac{\mu_{C_1}}{std_{C_1}}$ ，用最简单的分类方法将它分成 4 个等级，

$D_i \in \{1, 2, 3, 4\}$ ，当 D_i 越大， α, β 的可靠性越高，当 D_i 越小， α, β 的可靠性越低。

根据上述计算，遥感图像的纹理描述符描述可由以下特征向量表达，即

$$F = [C_1 \ D_1 \ \alpha \ \beta \ C_2 \ D_2 \ \alpha_2 \ \beta_2] \quad (11)$$

3.4 相似度计算

上一步提供了遥感图像的量化表示，可以用于数据库检索，接着判断检索到的图像与查询图像的一致程度。

以 μ_{mn} 和 σ_{mn} 为分量构成特征向量 f ，用来计算图像相似度，即

$$f = [\mu_{00}, \sigma_{00}, \mu_{01}, \dots, \mu_{45}, \sigma_{45}] \quad (12)$$

2 幅图像之间的相似度可用欧式距离来计算。本文中采用归一化方法，优点是少量超大或超小的元素对归一化后的元素分布影响较小，而且归一化可用来进行相似性度量，不用考虑各种纹理特征的物理意义和取值范围，这样就减少了

计算量，提高了图像检索的速度和成功率^[12,13]。

$$d(i, j) = \sum_m \sum_n d_{mn}(i, j) \quad (13)$$

$$d_{mn}(i, j) = \left| \frac{\mu_{mn}^{(i)} - \mu_{mn}^{(j)}}{\alpha(\mu_{mn})} \right| + \left| \frac{\sigma_{mn}^{(i)} - \sigma_{mn}^{(j)}}{\alpha(\sigma_{mn})} \right| \quad (14)$$

$\alpha(\mu_{mn})$ 和 $\alpha(\sigma_{mn})$ 分别是数据库中 μ_{mn} 和 σ_{mn} 的标准偏差。

4 实验结果与分析

4.1 利用纹理描述符进行快速检索

本文选出了部分纹理图像，从每一幅图中都截取出一块 128×128 大小的图像作为图像数据库，分别计算它们的特征向量，得到对该纹理图像的纹理描述符(如图1所示)。以目视判断为检验标准，图1中检索结果与人的感知均具有一定的一致性，这说明多通道 Gabor 纹理特征能较好地表达遥感图像内容。

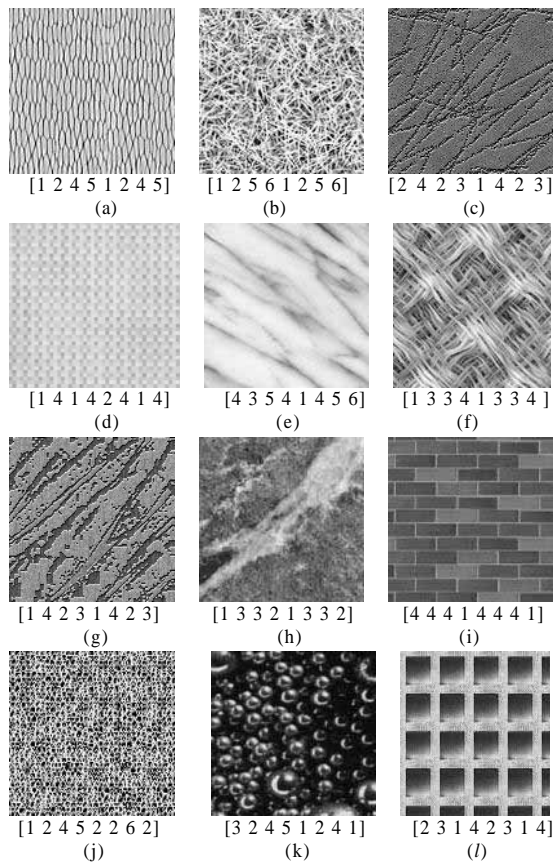


图1 图像纹理描述符

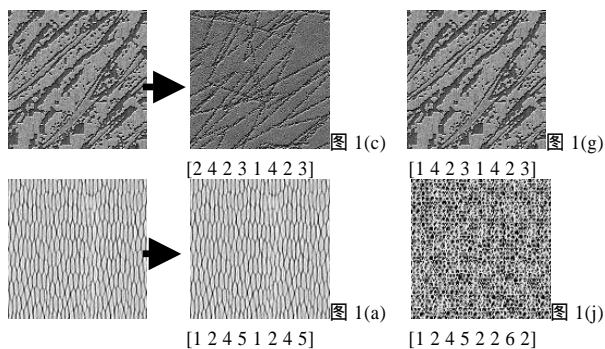


图2 系统中的应用

在检索系统中应用时，只要图像相应向量的前半部分或后半部分检索到就可以认为该图像符合检索要求(见图2)。示例中查询图像在左边，右边是可能的相似模式。

4.2 提取相似部分

利用 Gabor 小波对纹理图像进行检索，和其它的纹理描述符相比，主要优点在于：一般的树状小波，对应高频的特征组成部分有更好的识别执行能力，然而在高频部分进一步分解会导致识别执行能力的降低，得到的特征的鲁棒性不好；但对于改进的树状小波，它所换来的代价是纹理向量变大，增加了存储空间。

对各类特征采用不同的相似测量方法是很重要的。在判断图像距离时，对于遥感图像来说，利用马氏距离可以从欧氏距离的64%提高到73%。但归一化的欧氏距离比他们的效果都要好。提取相似部分在航空图像中的应用如图3所示。

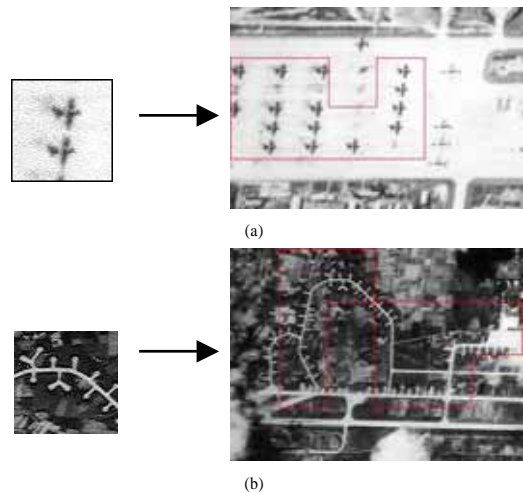


图3 相似部分在航空图像中的应用

5 结束语

本文研究了基于 Gabor 滤波器的遥感图像检索方法，首先根据纹理图像设计一组 Gabor 小波滤波器，纹理图像经过二维 Gabor 小波变换后得到一组多分辨率、多方向的图像。本文分别计算每个滤波图像的能量，得到遥感图像纹理描述符。通过实验对给定算法进行评判，说明检索结果与人对检索结果的标识有相当高的一致性。在基于内容图像检索领域还存在着许多富有挑战性的研究方向，需要开展更加深入的工作，例如，研究综合特征检索，以便全面地描述图像内容；研究相关性反馈技术，以便更好地满足用户的检索需求。

参考文献

- 1 Marques O, Furht B. MUSE: Content-based Image Search and Retrieval System Using Relevance Feedback[J]. Multimedia Tools and Applications, 2002, 17 (4): 21-50.
- 2 Pentland A, Picard R W. Photobook: Content-based Manipulation of Image Databases[R]. MIT Media Lab Perceptual Computing, 1993.
- 3 Ma W Y, Manjunath B S. A Texture Thesaurus for Browsing Large Aerial Photographs[J]. Journal of the American Society for Information Science, 1998, 49(7): 633-648.
- 4 Ma W Y, Zhang H J. Benchmarking of Image Features for Content-based Retrieval[C]//Proceedings of the 32nd Asilomar Conference on Signal, System & Computers. 1998.
- 5 Buntine W. Learning Classification Trees[J]. Statist. Comput., 1992, 2 (2): 63-73.
- 6 庄越挺, 潘云鹤, 吴 飞. 网上多媒体信息分析与检索[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002: 47-48.

(下转第 186 页)