

# 一种遥感影像基于内容检索模型的研究与设计

李峰<sup>1,2,3</sup> 胡岩峰<sup>1,2,3</sup> 曾志明<sup>2,3</sup> 李立钢<sup>1,2,3</sup> 刘波<sup>4</sup>

(1 中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710068)

(2 中国科学院电子学研究所, 北京 100080)

(3 中国科学院研究生院, 北京 100039)

(4 中国科学院高技术研究与发展局, 北京 100864)

**摘要** 分析了基于内容的图像检索技术, 提出了一种与遥感影像应用模式紧密结合的遥感影像基于内容检索的模型, 重点分析和讨论了该模型所采用的特征提取算法, 并提出需要进一步研究的内容.

**关键词** 基于内容的检索; 遥感影像; 图像数据库; 目标区域

**中图分类号** P407.8 **文献标识码** A

## 0 引言

进入 20 世纪 90 年代, 研究者们提出了基于内容的图像检索 (Content-Based Image Retrieval, CBIR)<sup>[1]</sup>, 基本思路是: 图像的检索不再是通过图像文本注释的检索来实现, 而是通过图像自身的视觉内容, 如颜色、纹理、形状、空间关系等特征进行图像的检索. 从而解决了人工注释图像工作量大、主观性理解和表达造成注释信息不准确等问题.

经过 10 多年的发展, 基于内容的图像检索已经扩展为包括图像和视频信息在内的基于内容的视觉信息检索, 并取得了长足的进展. 已有大量理论研究和技术的论文发表; 出现了多个成功应用于研究和商用领域的基于内容的视觉信息检索系统; IEEE 和 SPIE 组织了专门的基于内容的多媒体信息检索会议. 这些都极大的推动了该项技术的快速发展. 然而, 基于内容对视觉信息的检索是一个挑战性的研究, 涉及多个领域, 仍有许多亟待解决的问题.

遥感技术是近几十年迅速发展起来的一门综合性学科, 它涉及到电磁波理论、传感器理论、航空航天平台技术、信号接收和处理技术、遥感信息处理技术和专业领域知识等许多学科的内容. 已经在国防建设、国民经济建设、国土资源利用、灾害监测等诸多领域发挥了重要的作用. 近年来, 卫星系统、各类监测系统、生物医学、Internet 成为急剧增长的图像数据的主要来源, 如 NASA (National Aeronautics and Space Administration, 美国宇航局) 每日产生的数据都是 TB 级的. 这些海量遥感影像的存储、检索与应用成为我们面前的急需解决的重要课题. 目前, 虽然基于内容的视觉信息检索技术在人脸识别、指

纹识别、医学影像数据库、新闻媒体等领域取得了较为成功的应用. 但它在遥感影像领域的应用还是相对匮乏. 遥感影像数据类型繁多、数据量大、数据尺度多样等特点在一定程度上限制了基于内容的视觉信息检索技术在该领域的发展. 因此, 我们提出了一种与遥感应用模式紧密结合的基于内容检索的模型架构.

## 1 遥感影像基于内容检索体系结构设计

遥感影像与其他图像 (如医学影像、光学照片、绘制图画等) 在形式和内容上都有着巨大地差异, 它针对具体应用而言, 更多地是关心影像中的目标, 如军事目标、民用目标、土地资源目标等. 例如, 在一幅大尺寸的遥感图像中应用感兴趣的可能只是尺寸和数量较小的一部分重点目标区域, 因此, 首先将这些重点目标区域与原始遥感影像建立关联, 再将这些重点目标区域作为二级图像存储, 并建立起基于这些图像的基于内容检索的体系框架, 如图 1. 从而为遥感影像数据库中快速、方便地检索目标区域提供了完整地解决方案.

本文提出的模型主要由以下四个部分组成: 遥感影像预处理部分, 遥感影像数据库部分, 遥感影像数据库搜索引擎, 人机交互部分.

遥感影像预处理部分完成重点目标区域或感兴趣区域 (ROI) 选取, 选取后的图像作为原始图像的二级图像, 并与原始图像建立关联. 针对这些区域图像进行特征提取, 并对提取的特征建立多维索引结构. 遥感影像数据库部分由特征库、图像库组成, 其中特征库保存根据各种特征提取算法自动提取出的重点目标区域的特征数据, 如纹理共生矩阵、小波轮廓描述符等; 图像库保存遥感影像元数据或以

BLOB 方式保存图像数据. 遥感影像数据库搜索引擎是整个体系结构中的核心部分, 为用户提供高效、准确的检索结果. 人机交互部分为用户提供遥感影

像基于内容检索的接口, 用户通过例子查询或草图查询为系统提交查询请求, 并在查询过程中引入相关反馈技术, 以提高查准率和查全率.

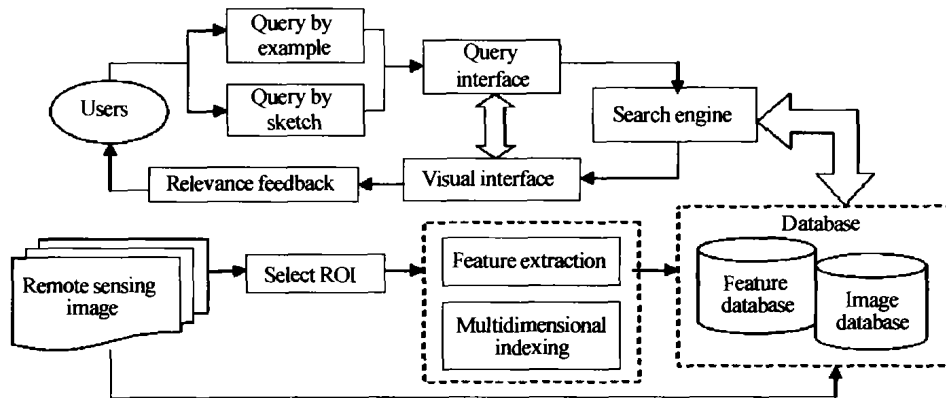


图1 遥感影像基于内容检索的系统框图

Fig. 1 The framework of content-based retrieval in remote sensing image

## 2 特征提取

特征提取是基于内容的图像检索(CBIR)的基础. 就广义而言, 特征既可包括文本型的(如关键字、注解), 也可包括视觉特征(如颜色、纹理、形状、空间关系等), 目前各个特征所对应的匹配算法已经逐渐成熟, 但是近年来的研究表明视觉特征的提取仍不能很好的满足用户的需要, 因此开始在提高其精确度的同时开始研究高层的语义特征描述和相似度匹配.

颜色特征对图像区域的方向和大小变化不敏感, 不受图像旋转和平移的影响, 但不能很好的表达图像中对象的局部特征; 纹理特征具有旋转不变性, 抗噪声能力强, 但当图像的分辨率发生变化时, 计算出来的纹理特征差别较大; 形状特征的设计和计算复杂, 需要提取大量的特征来模型化的表达形状, 获得的特征向量具有很高的维度, 不利于索引. 各种特征描述都有自己的优点和缺点, 应该综合利用这些特征对图像进行描述, 并需要平衡考虑特征维度与检索效率之间的矛盾.

遥感影像具有多分辨率、多时相的特点, 遥感影像中的重点目标区域在不同分辨率、不同时间、不同

成像传感器下表现出来的内容会有所不同, 针对这些区域可以提取颜色、纹理和形状特征, 多个目标区域之间还可以提取并描述它们的空间关系特征. 根据遥感应用的特点, 对遥感影像而言, 用户更多的是关心重点目标区域的纹理和形状特征. 因此, 模型中特征提取模块主要以影像中重点目标区域的纹理和形状描述和提取算法为主.

### 2.1 基于纹理的特征提取

纹理是图像的一种重要特征, 图像检索用到的纹理特征表示方法主要有<sup>[2]</sup>: Tamura 方法, MRSAR (multi-resolution simultaneous auto-regressive model), Gabor 变换, PWT (pyramid wavelet transform), TWT (tree wavelet transform), 基于共生矩阵的描述符<sup>[3]</sup>, 边缘直方图等<sup>[3]</sup>, 其中边缘直方图是 MPEG-7 国际标准推荐使用的纹理描述符之一. 对图像纹理描述符的计算可以在空域进行, 也可以在变换域进行, 还可以借助随机场模型进行计算.

小波是具有振荡性并迅速衰减的波<sup>[4]</sup>, 小波变换是信号的一种时频分析方法, 具有多分辨率分析的特点, 而且在时域和频域都有表征信号局部特征的能力. 利用小波变换系数可以表达纹理频率特性. 常用的有两种金字塔结构的小波变换(PWT)和树结构的小波变换(TWT), 如图2. 其中, L表示低频,

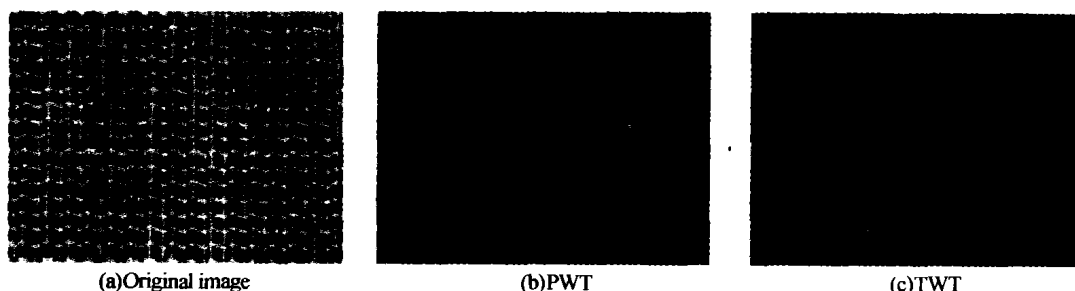


图2 纹理图像及其小波变换

Fig. 2 Texture image and its wavelet transform image

H 表示高频. 在塔式小波变换中仅分解 LL 通道生成下一尺度的各频带输出, 而不分解其他通道, 树式小波变换通常还将 LH 通道和 HL 通道进行递归分解. 由于纹理图像含有相当多的中频分量, 所以树式小波变换更适合纹理描述.

其中, 图(b)中的 A 到 F 分别为  $W_{2,LH}, W_{2,HL}, W_{2,HH}, W_{1,LH}, W_{1,HL}, W_{1,HH}$ ; 图(c)中的 A 到 D 分别为  $W_{2,HH}, W_{2,HH}, W_{2,HH}, W_{1,HH}$ .

基于 Gabor 滤波器的纹理描述符是与小波变换纹理描述符类似的一种纹理描述符. Gabor 滤波器可看作朝向和尺度均可调的边缘检测器, 一个 2-D 的 Gabor 函数定义如式(1)

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

计算 Gabor 纹理特征向量是这样一个过程:

- 1) 将图像用一组尺度和朝向可调的 Gabor 滤波器进行滤波;
- 2)  $m, n$  分别代表 Gabor 滤波器的尺度和朝向, 尺度的总数为  $M$ , 朝向的总数为  $N$ ;
- 3)  $\mu, \sigma$  分别表示变换系数的能量分布的均值和标准方差;
- 4) 得到基于 Gabor 滤波器的特征描述符如式(2)

$$g = [\mu_{00} \sigma_{00} \mu_{01} \sigma_{01} \dots \mu_{(M-1)(N-1)} \sigma_{(M-1)(N-1)}]^T \quad (2)$$

### 2.2 基于形状的特征提取

形状是物体的一个重要特征, 但由于自动获取物体的形状相当困难, 基于形状的检索一般仅限于非常容易识别的物体. 形状可用面积、离心率、圆弧度、形状矩、曲率、分形维等全局和局部特征来表示<sup>[3]</sup>. 形状描述与分析方法主要有: 区域的不变矩、傅立叶描述符、小波轮廓描述符、小波重要系数法<sup>[5]</sup>、自回归模型、边缘方向直方图等, 向心链码<sup>[3]</sup>, 等.

形状通常与目标联系在一起具有一定的语义特征, 因此, 对目标形状的描述比对颜色或纹理的表达要复杂的多, 至今都未找到几何的、统计的或形态学的形状测度使之能与人的感观一致. 从不同的视角获取的图像中目标的形状会具有较大的差别, 为准确的进行形状匹配, 需要解决平移、尺度、旋转不变性等复杂问题, 而这些在检索应用中都相当重要.

小波模极大值是对多尺度小波变换进行不规则抽样的基础上得到的, 可以用来描述信号的奇异性<sup>[5]</sup>. 若  $g(x, y)$  在整个平面上的积分为 1 并且在  $x$  或  $y$  为无限远处收敛为 0, 则可以定义  $g(x, y)$  为 2-D 平滑函数, 并定义两个小波函数  $w_1(x, y)$  和  $w_2(x, y)$  为

$$w_1(x, y) = \frac{\partial g(x, y)}{\partial x} \quad w_2(x, y) = \frac{\partial g(x, y)}{\partial y} \quad (3)$$

图像  $f(x, y)$  的小波变换的两个分量在尺度为  $s$

时定义为

$$\begin{aligned} W_{1,s}f(x, y) &= f \cdot w_{1,s}(x, y) \\ W_{2,s}f(x, y) &= f \cdot w_{2,s}(x, y) \end{aligned} \quad (4)$$

对二进小波变换就有

$$\begin{bmatrix} W_{1,2^j}f(x, y) \\ W_{2,2^j}f(x, y) \end{bmatrix} = 2^j \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x}(fg_{2^j})(x, y) \\ \frac{\partial}{\partial y}(fg_{2^j})(x, y) \end{bmatrix} = 2^j \nabla (fg_{2^j})(x, y)$$

在任一尺度  $2^j$ , 梯度的模等于

$$M_{2^j}f(x, y) = \sqrt{|W_{1,2^j}f(x, y)|^2 + |W_{2,2^j}f(x, y)|^2} \quad (6)$$

梯度与水平轴的夹角为

$$A_{2^j}f(x, y) = \arg [W_{1,2^j}f(x, y) + iW_{2,2^j}f(x, y)] \quad (7)$$

通过获得这些模极大值点的位置以及相应的模  $M_{2^j}f(x, y)$  和角度  $A_{2^j}f(x, y)$  即可表示目标的形状轮廓.

### 2.3 使用纹理和形状的组合测度

在遥感影像应用中, 图像中目标的纹理和形状是紧密联系的, 纹理和形状相结合的检索方法有很多种, 其中最简单的方法是分别计算纹理和形状的测度, 再将它们加权取和, 获得一个综合测度来描述目标特性. 综合纹理和形状特征的检索可以在很大程度上增加检索的灵活性, 提高检索的查准率和查全率.

## 3 相关反馈技术

在基于内容的视觉信息检索中, 反馈是调整技术以适应用户需求和检索准确的常用手段. 而常用的反馈方法是相关反馈, 通过对先前检索结构进行权重调整, 作为更多的信息提供给检索系统, 从而有效的提高系统的检索效率.

实现这种调整的一个典型的迭代公式如式(8)

$$Q_{i+1} = \alpha Q_i + \beta \left( \frac{1}{N_R} \sum_{i \in D_R} D_i \right) - \gamma \left( \frac{1}{N_N} \sum_{i \in D_N} D_i \right) \quad (8)$$

其中,  $\alpha, \beta$  和  $\gamma$  是加权常数,  $Q_{i+1}$  和  $Q_i$  分别对应查询迭代中第  $i+1$  和第  $i$  次查询点位置,  $D_i$  为特征向量,  $D_R$  和  $D_N$  分别表示正例图像集合和反例图像集合特征向量,  $N_R$  和  $N_N$  分别表示落在正例图像集合和反例图像集合中的数量.

## 4 结论

根据遥感影像的特点, 利用基于内容检索的技术, 提出了遥感影像基于内容检索的基本框架, 为海量遥感影像的应用提出了一种新的思路和方式, 具有一定的研究价值. 但是遥感影像与基于内容检索技术应用相对成熟的人脸库、指纹库、医学影像库等

图像有很大的差异,所以基于这些图像数据库的特征提取算法和维度索引算法不一定适用于遥感影像。因此,需要通过大量的试验,研究针对遥感影像重点目标区域的特征提取算法,为遥感影像基于内容检索的应用提供支持。

#### 参考文献

- 1 Yong Rui. Image retrieval: current techniques, promising direction and open issues. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 1999, 10(3): 39 ~ 62
- 2 Ma Weiyang, Zhang Hongjiang. Benchmarking of image feature for content-based retrieval. The Thirty-Second Asilomar Conference on Signals, System & Computer. California, USA; 1998. 1: 253 ~ 257
- 3 章毓晋. 基于内容的视觉信息检索. 北京: 科学出版社, 2003  
Zhang Yujin. Content-based Visual Information Retrieve. Beijing: Science Press, 2003
- 4 Jacobs C E, Finkelstein A, Salesin D H. Fast multiresolution image querying. Proc. SIGGRAPH'95: 277 ~ 286
- 5 Mallat S, Hwang W L. Singularity detection and processing with wavelet. *IEEE IT*, 1992, 38(2): 617 ~ 643
- 6 Gudivada V N, Raghavan V V. Content based image retrieval systems. *IEEE Computer*, 1995, 28(9): 18 ~ 22
- 7 黄祥林, 沈兰荪. 基于内容的图像检索技术研究. 电子学报, 2002, 30(7): 1065 ~ 1070  
Huang X L, Shen L S. *Acta Electronica Sinica*, 2002, 30(7): 1065 ~ 1070
- 8 罗睿, 张永生, 范永弘. 遥感图像数据库基于内容查询的研究. 遥感学报, 2002, 6(1): 24 ~ 29  
Luo R, Zhang Y S, Fan Y H. *Journal of Remote Sensing*, 2002, 6(1): 24 ~ 29

## The Design and Research for a Model of Content-based Retrieval in Remote Sensing Image

Li Feng<sup>1,2,3</sup>, Hu Yanfeng<sup>1,2,3</sup>, Zeng Zhiming<sup>2,3</sup>, Li Ligang<sup>1,2,3</sup>, Liu Bo<sup>4</sup>

*Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of CAS, Xi'an 710068*

*2 Institute of Electronics of CAS, Beijing 100080*

*3 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039*

*4 Bureau of High-Tech Research and Development of CAS, Beijing 100864*

Received date: 2004-05-24

**Abstract** After content-based image retrieval technique was analyzed, a kind of model of content-based retrieval in remote sensing image was brought forward. On this base, the algorithm for feature extraction adopted by this model was analyzed and discussed. Finally, the intending contents to be research in this model was put forward.

**Keywords** Image database; Content-based retrieval; Remote sensing image; Object region



**Li Feng** was born in 1977, received Master Degree in Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of CAS in 2002. He became Ph. D. degree candidate of Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of CAS. His research involves image database, remote sensing image and image processing.