

基于 Radon 和树型小波变换的遥感影像居民地提取

过 林, 马 莉, 叶诗淳

(66240 部队, 北京 100042)

摘 要: 针对频域变换的旋转不变纹理特征, 提出 Radon 变换结合树型小波变换的纹理特征提取方法。以 Radon 变换处理影像将影像纹理的旋转转化成平移信息, 对变换后的影像进行非完全树型小波变换。此时可以将能量作为旋转不变纹理特征, 但得到的小波系数所携带信息较少, 所以本文采用小波系数直方图作为纹理特征。采用此方法对居民地进行提取, 实验结果表明利用该方法能得到比较有效稳定的旋转不变纹理特征, 并且对不同的中小比例尺遥感影像都有较好的适应性。

关键词: 纹理特征; 频域变换; Radon 变换; 树型小波变换

中图分类号: TP75 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672 - 5867(2012)01 - 0150 - 04

Remote Sensing Image Extraction of Residential Areas Based on Radon and Tree - structured Wavelet Transformation

GUO Lin, MA Li, YE Shi - chun

(66240 Troops, Beijing 100042, China)

Abstract: Considering the invariant rotation texture features of frequency - transformation, a texture features' extraction algorithm of Radon transformation based on tree - structured wavelet transformation is proposed. Images are processed by Radon transformation from the rotation of image texture to shifting information. Then the processed images are transformed by incomplete tree - structured wavelet. Now we can consider the energy as invariant rotation texture features, but the information achieved of wavelet transforming coefficient is too less. So this paper adopts wavelet transform coefficient histogram as texture features. Using this method to extract the residential area, experiments show that we can achieve more efficient and steady invariant rotation texture features, and this method has good adaptability for different medium and small scale remote sensing images.

Key words: texture features; frequency - transformation; Radon transformation; tree - structured wavelet transformation

0 引 言

居民地又称“居民点”或聚落, 是人与自然相互作用的产物, 是人类为从事生产和生活的需要而集聚定居的各种形式的居住场所。可分为街区式、散列式、窑洞以及蒙古包帐篷四种。本文的主要研究对象为街区式居民地, 即城市、集镇及农村中房屋毗连成片, 有明显外轮廓和主次街道, 按一定形式排列的居住区。

居民地是人类居住和进行各种活动的中心场所, 是 GIS 空间数据库中最主要、变化最多最快的要素之一。随着改革开放不断深入, 我国经济和社会发生了翻天覆地的变化, 人口也越来越多地迁向城市, 居民地扩张速度加快, 利用遥感影像及时、准确地获取居民地信息具有极为重要的社会和经济意义。经过多年的研究和发展, 从遥

感影像中提取居民地已取得许多研究成果, 但离居民地提取的自动化和实用化还差得很远, 仍存在许多问题有待解决。

1 基本原理

通过频域变换的方法将影像特征从空间域变换到频率域, 能够容易了解到影像的各空间频域成分, 从而进行相应的处理。典型的频域变换方法小波变换能够提取特征, 但由于其对影像方向的敏感性, 不能够直接用于旋转不变纹理的分析^[1]。而在其基础上引入 Radon 变换, 将影像的旋转转化为平移信息, 进而利用频域变换方法提取具有平移不变性的纹理特征, 即得到原始影像的旋转不变纹理特征, 进而能够较好地提取居民地的边缘^[2]。

收稿日期: 2010 - 10 - 22

作者简介: 过 林(1986 -), 男, 河南虞城人, 助理工程师, 硕士, 2011 年毕业于信息工程大学摄影测量与遥感专业, 主要从事摄影测量与数字图像处理工作。

1.1 Radon 变换

Radon 变换是计算影像在某一指定角度射线方向的投影的变换方法,影像的投影就是影像在某一方向上的线性积分,对于数字影像来说也就是在该方向上的累加求和。一个函数 $f(x,y)$ 的 Radon 变换是该函数沿包含该函数的平面内的一族直线的线积分^[3]。例如, $f(x,y)$ 在水平方向的 2 维线积分就是 $f(x,y)$ 在 y 轴的投影, $f(x,y)$ 在垂直方向的 2 维线积分就是 $f(x,y)$ 在 x 轴的投影。推而广之,可以沿任意角度对函数进行投影,即函数的 $f(x,y)$ 的 Radon 变换为:

$$R(f(x,y)) = \iint_{y,x} f(x,y) \delta(r - x \cos \theta - y \sin \theta) dx dy = R(r)$$

式中: r 代表沿着直线上的距离,表示为 $r = x \cos \theta + y \sin \theta$,沿着一系列平行线(投影线)的积分就组成了投影 $R_\theta(r)$,所有的投影组成的集合 $\{R_\theta(r), \theta \in [0, \pi]\}$ 就是 Radon 变换或者称为 x 射线断层投影。如图 1 所示,影像在 θ 方向的 Radon 变换即为计算影像在 θ 方向的投影, θ 方向上不同坐标点的变换值即为影像在该点上的投影之和。图 2 为得到的一幅纹理影像及其在 $0^\circ \sim 180^\circ$ 的 Radon 变换结果。

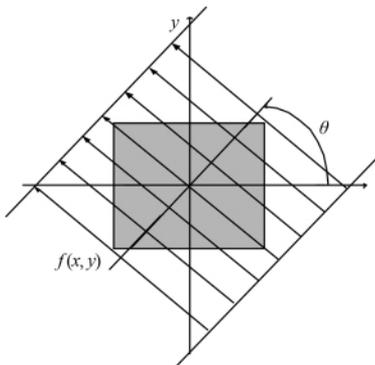


图 1 Radon 变换

Fig.1 Radon transformation

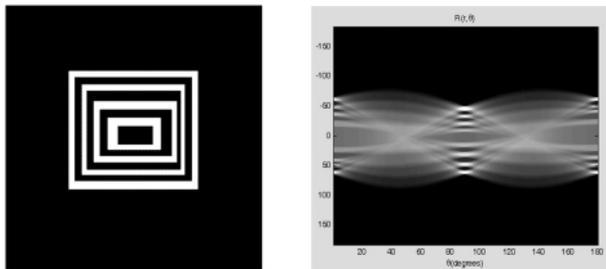


图 2 纹理影像 I 及其在 $0^\circ \sim 180^\circ$ 的 Radon 变换

Fig.2 Texture feature image I and its transformation between $0^\circ \sim 180^\circ$ based on Radon

Radon 变换针对 $f(x,y)$ 平移、尺度以及旋转变换分别有不同的性质,由于本文研究的内容是基于种子点的面状地物提取,同一幅影像的地物不涉及尺度缩放,所以仅研究 Radon 变换平移与旋转方面的性质并加以利用^[4]。

1) 平移

设 x 和 y 方向的平移量为 x_0 和 y_0 ,则:

$$R(f(x - t_x, y - t_y)) = R_\theta(r - t_x \cos \theta - t_y \sin \theta)$$

即原影像的平移等于 t 方向的平移。

2) 旋转

设影像的极坐标表示为 $f(t, \varphi)$, φ_0 为旋转量,则对应的 $f(t, \varphi)$ 和 $f(t, \varphi + \varphi_0)$ 的 Radon 变换分别为:

$$R(f(t, \varphi)) = R(r, \theta)$$

$$R(f(t, \varphi + \varphi_0)) = R(r, \theta + \theta_0)$$

即原影像的旋转就等于 θ 角度的平移。

由以上可以看出,对纹理影像进行 Radon 变换,可以将影像的平移和旋转统一转化为 r 方向和 θ 方向的平移。因此,原影像的旋转及平移不变特征提取就等效于其 Radon 变换的平移不变特征提取^[5]。

1.2 树型小波变换

小波变换方法包括金字塔式小波分解与树型小波分解。塔式小波分解是信号只在低频子带上进行分解。树型小波分解分为完全树型小波分解和不完全树型小波分解两种。完全树型小波分解是在各个频率子带进行完全分解,即通常所说的小波包分解;不完全树型小波变换在每层分解时,并不是每个频率子带都进行分解,而是有选择地进行分解。

金字塔结构的正交小波变换的多分辨率分解只是将低频部分即近似部分信号进行再分解,而对高频部分信息即细节影像部分一般不予以考虑,这对于纹理影像分类往往效果不佳。一般认为影像的低频信息代表影像均匀区域的信息,其信息变化缓慢,信息量较小。而对于纹理影像,通常认为影像的纹理信息应存在于影像的中高频信息中。

针对纹理影像的这种特点,树型结构的小波变换和小波包分析克服了这一缺点。它们可以同时高频信息进行分解,为纹理分析提供了一种更加精细的分析方法。在树状小波分解算法中,将影像分解成 4 个子带影像后,对每个子带影像 LL, LH, HL 和 HH 进行进一步分解,形成树状结构,从而获得对影像的更精细的描述。树型小波变换又分为完全树型小波变换和不完全树型小波变换两种。完全树型小波变换是在各个频率通道进行完全分解,即我们通常所说的小波包分解;不完全树型小波变换在每层分解时,并不是在每个频率通道都进行分解,而是有选择地进行分解。由于并非所有的子带影像信息都是有用的,对具体纹理影像进行分解时,可选择一个判断依据对影像进行非完全树型小波变换,从而避免不必要的、使计算复杂化的影像全分解。2 维小波包分解的树状结构如图 3 所示。

2 实验及结果分析

将 Radon 变换与树型小波变换结合,提出基于 Radon 变换和树型小波变换的直方图方法进行旋转不变纹理特征提取^[6],大致步骤如下:

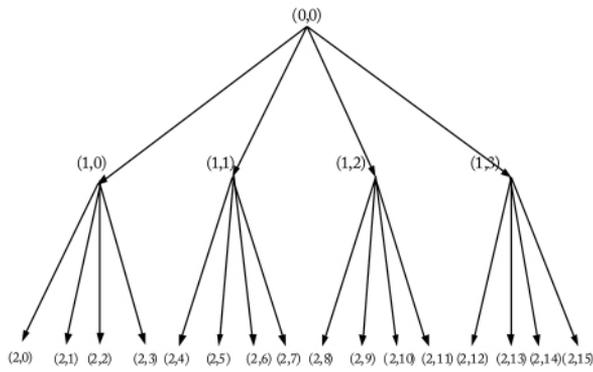


图3 2维小波包树状结构

Fig.3 The 2-dimensional tree-structured wavelet structure

- 1) 对纹理影像 I 作 Radon 变换,将纹理的旋转转化为平移,得到变换后的投影影像 I' ;
- 2) 对 I' 进行归一化,进行不完全树型小波变换。分解的过程中,选取每层能量最大的两个频带进行再分解,采用具有正交性、紧支性和低复杂性的 Daubechies 小波滤波器,分解深度为 2 层,变换后有效的子影像个数为 4 个;
- 3) 分别计算每幅子影像小波系数直方图并以其作为纹理特征,这样得到的特征向量为 4 维。

依据上述方法得到的纹理特征描述是通过小波系数统计量的直方图来表达的。因此,纹理特征相似性的计算采用的是直方图相似性测度。常用的直方图相似性测度主要有直方图相交法、直方图匹配法和直方图距离法等。

在众多算法中,用得最多的是直方图相交法。然而当进行直方图统计时,影像特征并不能取遍所有的可取值时,统计直方图会出现一些零值^[7]。这些零值的出现会对计算直方图相交带来很大影响,从而使得算出的匹配值并不能正确地反映两影像间的特征差别。

而累积直方图是解决此类问题的一种很好的方法。相对直方图而言,累积直方图也是一个 1-D 的离散函数,即:

$$H(k) = \sum_{i=0}^k \frac{n_i}{N} \quad k = 0, 1, \dots, L - 1$$

其中: k 代表影像特征的取值; L 是特征可取值的个数; n_i 是影像中特征值为 i 的像素的个数; N 是影像像素的总数。累积直方图能大大减少原统计直方图出现零值的数量,使待匹配的直方图在特征轴上的距离将保持与它们之间的相似程度成正比(如图 4 所示)。

依据此方法针对中、小比例尺遥感影像进行提取实验,实验中采用基于种子点的区域增长法进行区域搜索,并用 K 均值聚类法进行动态聚类^[8],图 5 是针对不同比例尺的遥感影像,用此算法进行提取时所得到的居民地影像。

结合实验结果对算法进行分析,得出以下结论:

- 1) 利用 Radon 变换将纹理影像数据转换到投影空间,从 2 维降至 1 维,充分利用小波分解的信号多尺度分

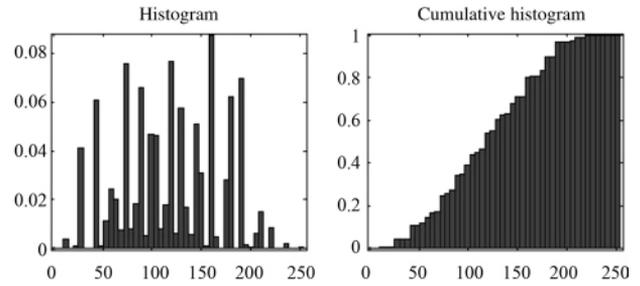


图4 直方图与累积直方图

Fig.4 Histogram and cumulative histogram

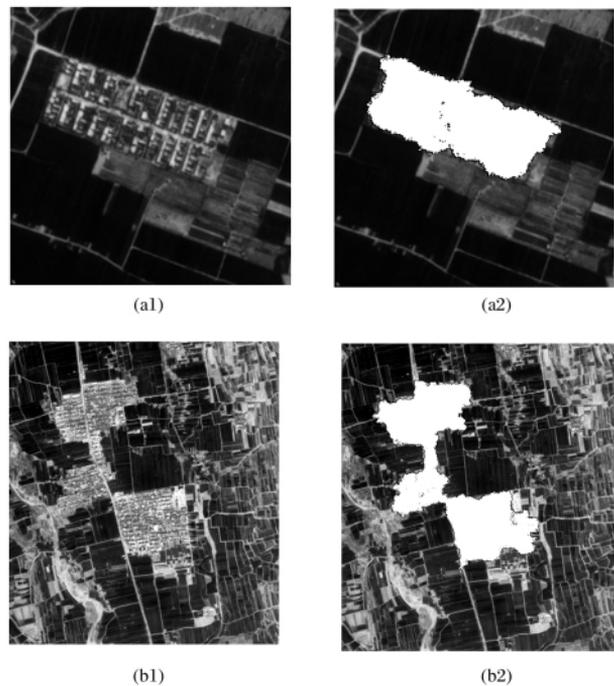


图5 不同比例尺遥感影像居民地提取前后对比

Fig.5 Before and after: remote sensing image extraction of residential areas by different scales

析能力,得到一种基于 Radon 变换与多尺度分解的平移与旋转不变纹理特征,同时由于 Radon 变换本身的积分作用,算法对噪声和亮度有较好的抑制作用。

- 2) 小波分解的深度对于特征向量的相似性影响很大。有学者提出用正交小波进行纹理分析时,最佳的分解层次为 3 层,本文研究的尺度特征分解以两层为最佳。

3) 在进行 Radon 变换时,投影角采样间距 $\Delta\theta$ 选取合适与否直接影响到整个算法的精确度以及计算耗时。分别对 100 幅不同的 256 像素 \times 256 像素影像及旋转后的影像进行试验,随着 $\Delta\theta$ 的增大,相应的两幅影像相异度(对 100 幅影像取均值)有增大的趋势,特征相似度逐步减弱,容易造成过分割现象,同时计算量随着 $\Delta\theta$ 变大;反之,相应影像特征相似度逐步增大,容易产生漏分割,但计算量比较小^[9]。如图 6 所示,经过实验,综合考虑计算复杂度和提取精度, $\Delta\theta$ 取值为 10 比较合适。

- 4) 本算法对于不同的中小比例尺遥感影像都有较强

的适应性。

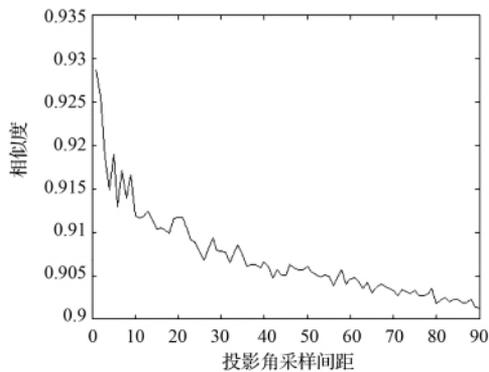


图 6 投影采样间隔 $\Delta\theta$ 对特征相似度的影响

Fig. 6 Influence of sample intervals of the projection angle on the feature similarity

3 结束语

本文分析了小波分解的实质和纹理特征经过小波分解后各尺度下的分布情况,采用树型小波系数直方图进行纹理特征的描述、提取,弥补了金字塔结构小波对纹理特征的中高频信息分解的不足。并提出将其与 Radon 变换结合处理的纹理特征描述方法,采用此方法对居民地

进行提取,取得了较好的提取结果,经验证该方法对不同的中小比例尺遥感影像都有较好的适应性。

参考文献:

- [1] 高文,陈熙霖. 计算机视觉——算法与系统原理 [M]. 北京: 清华大学出版社,1999.
- [2] 王润生. 影像理解与分析 [M]. 长沙: 国防科技大学出版社,1995.
- [3] 孙即祥. 数字图像处理 [M]. 石家庄: 河北教育出版社,1993.
- [4] 沈邦乐. 计算机影像处理 [M]. 北京: 解放军出版社,1995.
- [5] 路威. 全色遥感影像面状地物半自动提取方法的研究 [D]. 郑州: 信息工程大学,2002.
- [6] 金飞. 基于纹理特征的遥感影像面状地物半自动提取技术研究 [D]. 郑州: 信息工程大学,2009.
- [7] 吴健生,张昊. 拉东变换在探地雷达资料处理中的应用 [J]. 同济大学学报(自然科学版),2005,33(9): 1 270 - 1 272.
- [8] 安志勇,曾智勇,崔江涛,等. 基于 Radon 和小波变换的图像检索 [J]. 北京邮电大学学报,2007,30(5): 5 - 8.
- [9] 安志勇,赵珊,王晓华,等. 基于多尺度 Radon 变换的图像检索 [J]. 光子学报,2007,36(6): 1 176 - 1 180.

[编辑: 胡 雪]

(上接第 147 页)

线解算的精度影响值不大于 0.005 m,这样既提高了作业效率,可以用来进行短期预测,又能得到与精密星历相近的结果,完全符合设计的要求。可见利用 GPS 静态测量技术,通过正确的方案设计和精密的数据处理,在较大的范围、较差的作业条件下,可以达到滑坡变形测量的要求。

参考文献:

- [1] 徐绍铨,程温鸣. GPS 用于三峡库区滑坡监测的研究 [J]. 水利学报,2003(1): 114 - 118.
- [2] 李征航,黄劲松. GPS 测量与数据处理 [M]. 武汉: 武汉大学出版社,2005.
- [3] 李征航,徐绍铨. 全球定位系统(GPS)技术的最新进展 [J]. 测绘信息与工程,2002,2(2): 22 - 25.

- [4] 许其凤. 空间大地测量学 [M]. 北京: 解放军出版社,2001.
- [5] 隋立芬,宋力杰. 误差理论与测量平差基础 [M]. 北京: 解放军出版社,2004.
- [6] Shen Z K, Jackson D D, Ge B X. Crustal deformation across and beyond the Los Angeles basin from geodetic measurements [J]. J. G. R. 1996. 101(B12): 2 7957 - 2 7979.
- [7] Burchfiel B C, Chen Z, Liu Y. et al. Tectonics of the LongmenShan and adjacent regions, central China [J]. Intern. Geological Review, 1997, 37(8): 661 - 735.
- [8] Wessel P, Bercovici D. Interpolation with spline in tension: a Greens Function approach [J]. Mathematical Geology, 1998, 30(1): 77 - 93.

[编辑: 胡 雪]

(上接第 149 页)

4 结束语

本文通过主张将 GIS 业务系统中的地图分组为工作地图组和背景地图组,通过图层、矢量图集、地图服务、影像地图的方式实现对 GIS 业务系统中地图应用的分类与组织,使得系统在运行过程中,通过预先定义的地图分组、地图顺序配置、地图样式配置来实现对地图的简单快捷展示,从而为 GIS 业务系统的开发与应用提供一些实际指导,以满足各业务用户的需要。

参考文献:

- [1] 姚真凯. 瓦片地图技术在水利 WebGIS 业务系统中的开发研究与应用 [J]. 浙江水利科技,2009,11(6): 40 - 42.
- [2] 邵全琴,周成虎,张明全,等. 基于图层-地图-图集层次结构的电子地图数据组织方法 [J]. 高技术通讯,2001(3): 53 - 57.
- [3] 王同合. GIS 应用中海量地图数据的组织 [J]. 测绘学院学报,2001,6(2): 141 - 143.

[编辑: 宋丽茹]