

# 基于不变矩的高分辨率遥感图像建筑物提取方法\*

高薇<sup>1,2</sup>, 王珂<sup>2</sup>, 原发杰<sup>1,2</sup>, 余涛<sup>2†</sup>, 李玉霞<sup>1</sup>, 高斌<sup>1,2</sup>

(1. 电子科技大学自动化工程学院, 成都 611731; 2. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100101)

**摘要:** 为了有效地对图像进行特征提取, 利用不变矩算法对 IKONOS 和 WorldView 两种高分辨率遥感图像的城市建筑物地区进行提取。首先将图像数据经过 Canny 边缘检测和标记分水岭分割, 然后在此基础上分别利用胡氏不变矩和仿射不变矩对图像进行特征提取; 最后通过实验结果的评价可以证明在建筑物的特征提取上, 仿射不变矩比胡氏不变矩的提取效果更加显著, 进而也证明了利用不变矩算法对高分辨率遥感图像建筑物特征提取这一方法是可行且有效的。

**关键词:** 高分辨率遥感图像; 边缘检测; 不变矩; 特征提取

**中图分类号:** TP391.41      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-3695(2014)02-0622-03

**doi:**10.3969/j.issn.1001-3695.2014.02.074

## Building information extraction of high resolution remote sensing image based on moment invariants

GAO Wei<sup>1,2</sup>, WANG Ke<sup>2</sup>, YUAN Fa-jie<sup>1,2</sup>, YU Tao<sup>2†</sup>, LI Yu-xia<sup>1</sup>, GAO Bin<sup>1,2</sup>

(1. School of Automation Engineering, University of Electronic Science & Technology of China, Chengdu 611731, China; 2. Institute of Remote Sensing & Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

**Abstract:** In order to effectively extract features from remote sensing images, this paper utilized moment invariants algorithm to extract the urban building area from high-resolution remote sensing images IKONOS and WorldView. It firstly processed the image data by Canny algorithm and watershed segmentation. Then, it used Hu moment invariants and affine moment invariants for feature extraction. The experiment results show that affine invariant moments has a better effect than Hu moment invariants in feature extraction of buildings, and that the use of moment invariants algorithm in building feature extraction for high-resolution remote sensing data is feasible.

**Key words:** high-resolution remote sensing images; edge detection; moment invariant; feature extraction

图像的处理中, 目标识别是比较重要的一个组成部分, 从图中抽取所需的地物目标就要根据该地物目标的一些特征来和其他目标进行区分从而提取。而对于某一地物目标来说, 不同的方位角和高度进行观测时, 必然会发生评议、旋转和尺度等方面的变化, 因此为它的识别工作带来了困难。如何快速且准确地识别待测目标一直是国内外学者努力解决的问题<sup>[1-3]</sup>。

图像的主要特征可包括颜色、纹理、形状等。不同于其他如颜色和纹理等特征, 对于形状特征的提取必须是以图像中的物体或区域的划分为基础<sup>[4]</sup>。矩在力学中是用来表征物质的空间分布, 而在统计学中却用来表征随机量的分布, 如果将二值图或灰度图看成是二维的密度分布函数, 这样就可以把矩的技术应用在图像分析中, 矩就可以用来表示图像的特征, 并且也能提取特征。不变矩方法是一种经典的特征提取方法, 单纯的中心矩或是原点矩尽管可以表征平面物体的几何形状, 却都不具有不变性, 但可利用这些矩构造不变量<sup>[5]</sup>。1962年Hu提出图像的七个不变矩具有平移、旋转、比例不变性, 在目标识

别、图像分类和形状分析等领域发挥了重要作用。

### 1 设计流程和分割

本文的设计思路是首先对图像进行边缘检测和分割, 然后在此基础上使用胡氏不变矩来描述图像的形状特征。主要流程如图1所示。



图1 设计流程图

#### 1.1 数据选取

在实验中选用的是南京某地区的 IKONOS 图像, 大小为 410 × 418 像元, 该卫星携带一个全色 1 m 分辨率传感器和一个四波段 4 m 分辨率的多光谱传感器。另一幅图像数据选用的是新密市皇地宫地区的 WorldView 数据, 分辨率为 0.5 m, 大

**收稿日期:** 2013-03-25; **修回日期:** 2013-05-11      **基金项目:** 民用航天“十二五”预研项目(Y1K00200KJ); 中国科学院对外重点合作项目(GJHZ1003)

**作者简介:** 高薇(1987-), 女(蒙古族), 河南镇平人, 硕士研究生, 主要研究方向为遥感图像特征提取(gaowei8710@163.com); 王珂(1982-), 男, 博士(后), 主要研究方向为遥感图像处理; 原发杰(1987-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为海量遥感数据检索; 余涛, 男(通信作者), 研究员, 主要研究方向为遥感定标与真实性检验; 李玉霞(1979-), 女, 副教授, 博士, 主要研究方向为定量遥感; 高斌(1987-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为3S技术集成。

小为  $540 \times 402$ 。

### 1.2 图像边缘检测和分割

在本文实验中,首先要将图像进行边缘检测并分割。标准的基于数学形态学的分割方法是依赖边缘检测,可以考虑不同形态的分割问题的方法<sup>[6]</sup>。但一般的边缘检测算法包括 Sobel、Robert、Prewitt、拉普拉斯和 Canny 等算子。前四种方法存在一些不足,如不能有效去噪、存在伪边缘、出现漏检以及计算量大等问题,因此不被采用<sup>[7]</sup>;Canny 方法是一阶微分中检测阶跃型边缘效果最好的算子之一,它比其他四种算子的去噪能力都好,能在噪声抑制和边缘检测之间取得很好的平衡<sup>[8]</sup>。本文为了减少噪声的影响并精确定位边缘的需要,采用的是 Canny 算子来进行边缘提取。

### 2 特征提取

不变矩是用来表达图像形状信息的一种参数,具有平移、旋转和尺度不变的特性,因此被广泛应用在图像目标识别、图像匹配等方面。矩表示将一个归一化的灰度图像认为是一个二维随机变量的概率密度,图像二维函数  $f(x, y)$  的  $(p + q)$  阶几何矩为

$$m_{pq} = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N x^p y^q f(x, y) \quad (1)$$

其中  $(x, y)$  是数字图像中的像素坐标,若使用中心距可以取得平移不变形,在数字图像中为

$$\mu_{pq} = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) \quad (2)$$

其中:  $\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}}$ ,  $\bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}}$ 。如果  $f(x, y)$  是灰度图像,那么零阶矩  $m_{00}$  就可以表示为图像灰度值综合,也就相当于二值图中的图像的面积。一阶矩  $m_{10}$  和  $m_{01}$  分别可以代表灰度图像中的  $x$  和  $y$  方向的重心,尺度的不变形特征也可以在归一化的无尺度中心距  $n_{pq}$  中得到,表达式为

$$n_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{(\mu_{00})^\gamma} \quad (3)$$

其中:  $\gamma = (p + q) / 2 + 1$ , Hu 提出的二维矩不变量理论就直接利用上述公式推导出七个不变矩,并证明它对于平移、比例和旋转具有不变性,从而被广泛应用在目标识别方面的领域, Hu 的七个不变矩表达式为

$$h_1 = n_{20} + n_{02} \quad (4)$$

$$h_2 = (n_{20} - n_{02})^2 + 4n_{11}^2 \quad (5)$$

$$h_3 = (n_{30} - 3n_{12})^2 + (3n_{21} - n_{03})^2 \quad (6)$$

$$h_4 = (n_{30} + n_{12})^2 + (n_{21} + n_{03})^2 \quad (7)$$

$$h_5 = (n_{03} - 3n_{21})(n_{21} + n_{03})[(n_{30} + n_{12})^2 - 3(n_{21} + n_{03})^2] + (3n_{21} - n_{03})(n_{21} + n_{03})[3(n_{30} + n_{12})^2 - (n_{21} + n_{03})^2] \quad (8)$$

$$h_6 = (n_{20} - 3n_{02})[(n_{30} + n_{12})^2 - (n_{21} + n_{03})^2] + 4n_{11}(n_{21} + n_{03}) \quad (9)$$

$$h_7 = (3n_{21} - n_{03})(n_{21} + n_{03})[(n_{30} + n_{12})^2 - 3(n_{21} + n_{03})^2] + (3n_{12} - n_{30})(n_{21} + n_{03})[3(n_{30} + n_{12})^2 - (n_{21} + n_{03})^2] \quad (10)$$

通过公式的推导可以证明 Hu 的七个不变矩具有旋转平移和尺度的不变性,实验结果表明利用 Hu 的七个不变矩对建筑物的特征提取效果并不明显,因此采用它的推广形式仿射不变矩。仿射不变矩是对 Hu 的七个不变矩进行进一步的变换,提出的仿射不变矩主要是由二阶和三阶中心矩构成的,形成四

个特征矩进行特征提取。具体表达公式如下所示:

$$l_1 = \frac{n_{20}n_{02} - n_{11}^2}{n_{00}^4} \quad (11)$$

$$l_2 = \frac{n_{30}^2 n_{03}^2 - 6n_{30}n_{21}n_{12}n_{03} + 4n_{30}n_{12}^3 + 4n_{12}^3 n_{03} - 3n_{21}^2 n_{12}^2}{n_{00}^{10}} \quad (12)$$

$$l_3 = \frac{n_{20}(n_{21}n_{03} - n_{12}^2) - n_{11}(n_{30}n_{03} - n_{21}n_{12}) + n_{02}(n_{12}n_{30} - n_{21}^2)}{n_{00}^7} \quad (13)$$

$$l_4 = |n_{20}^3 n_{03}^2 - 6n_{20}^2 n_{11}n_{12}n_{03} - 6n_{20}^2 n_{21}n_{02}n_{03} + 9n_{20}^2 n_{02}n_{12}^2 + 12n_{20}n_{11}^2 n_{21}n_{03} + 6n_{20}n_{11}n_{02}n_{03}n_{30} - 18n_{20}n_{11}n_{21}n_{02}n_{12} - 8n_{10}^3 n_{30}n_{03} - 6n_{20}n_{02}^2 n_{12}n_{03} + 9n_{20}n_{02}^2 n_{21}^2 + 12n_{11}^2 n_{02}n_{12}n_{03} - 6n_{11}n_{02}^2 n_{12}n_{03} + n_{02}^3 n_{30}^2| / n_{00}^{11} \quad (14)$$

在实验的时候发现,若单纯地只按照上述推理来计算 Hu 的七个不变矩的话,这七个数值很小,相对来说变化范围就比较大,不利于对目标进行精确的比较,所以采取将七个不变矩同时变换的方式来当做最终的比较依据<sup>[9]</sup>。通过下面公式进行变换:

$$h_k = \lfloor \log_{10} |h_k| \rfloor \quad k = 1, 2, \dots, 7 \quad (15)$$

### 3 实验结果与分析

在 MATLAB 中编写算法,对测试图像进行测试可以得到表 1 中的结果,其中将原图旋转  $15^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $180^\circ$ ,或缩小 0.6 倍,放大 1.2 倍、1.5 倍,可以分别得到不同的七个不变矩。从表 1 中可以看出,与原图相似的图像不变矩值与原图的不变矩值相比较差距比较小,说明了不变矩具有平移、缩放和选择等尺度不变性。

表 1 对测试图的不变矩实验结果

图	$h_1$	$h_2$	$h_3$	$h_4$	$h_5$	$h_6$	$h_7$
原图	2.788976629	8.023449775	11.167256482	10.770160579	22.803890388	15.538844539	21.740484682
$15^\circ$	2.788871814	8.024080886	11.163254389	10.768593165	22.790199622	15.530199418	21.736203785
$30^\circ$	2.788956150	8.023982792	11.165268368	10.771119384	22.770277797	15.535441900	21.741200340
$45^\circ$	2.788894062	8.038209800	11.171944014	10.777228185	22.701054849	15.552549161	21.754575061
$90^\circ$	2.788976629	8.023449775	11.167256482	10.770160579	22.803890388	15.538844539	21.740484682
$180^\circ$	2.788976629	8.023449775	11.167256482	10.770160579	22.803890388	15.538844539	21.740484682
0.6 倍	2.788983301	8.023483366	11.166329377	10.770713059	22.804781900	15.539310333	21.740845923
1.2 倍	2.788968920	8.023027569	11.166556685	10.770504874	22.803251801	15.537499001	21.740657249
1.5 倍	2.789029208	8.023457085	11.166467575	10.770873168	22.810081861	15.538024394	21.741118435
相似图 1	2.784001464	8.091463813	11.282981987	10.546243013	21.473673851	14.592753301	22.081694448
相似图 2	2.822497509	8.013052421	10.716726380	10.506943123	21.200533934	14.840880855	21.370492052
相似图 3	2.842036020	7.727627914	10.590618417	10.644396271	21.530302322	16.022509037	21.336438973
相似图 4	2.657099474	7.601788263	10.817582939	10.578115475	21.403353435	15.786551045	21.452388276

#### 3.1 实验结果

对用来做提取实验的 IKONOS 和 WorldView 图像先采用 Canny 算子进行边缘检测,在边缘检测时选取的高斯平滑滤波标准差为 1,得到的结果如图 3 所示;在边缘检测结果的基础上利用标记分水岭方法进行图像分割,对 IKONOS 和 WorldView 图像的分割阈值分别设置为 50 和 80,分割结果如图 4 所示;利用 Hu 的七个不变矩,设置每个值的不同阈值范围,得到的建筑物提取结果如图 5 所示;同样的方法利用仿射不变矩对建筑物进行提取,得到的结果如图 6 所示;分别利用图像处理软件将遥感图像建筑物区域人工提取并作为样本图像用来对算法结果进行评价,如图 7 所示。

#### 3.2 结果分析

采用常用的建筑物提取的评价标准<sup>[10,11]</sup>,包括提取的准确率、误分率和漏分率三方面。令算法提取的面积为  $m_1$ ,人工

提取样本的面积为  $m_2$ , 正确提取的面积用  $T$  表示, 错误提取的面积用  $F$  表示, 漏提取的面积用  $L$  表示, 则正确提取率 =  $T/m_1$ , 错误提取率 =  $F/m_1$ , 漏提取率 =  $L/m_2$  [12]。根据评价标准和实验中得到的结果, 可用来计算本文实验的提取精度, 如表 2 所示。

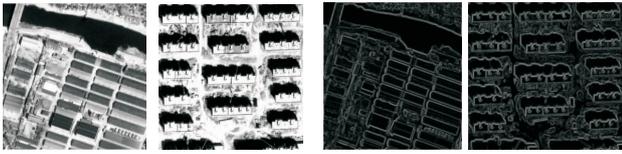


图2 原图像

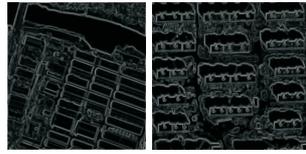


图3 边缘检测结果

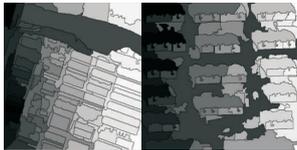


图4 分割后图像



图5 特征提取图像



图6 仿射不变矩提取结果

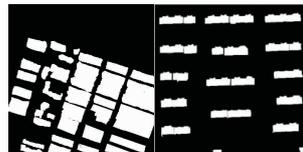


图7 建筑物样本

表 2 实验相关精度评价

数据	算法方式	$m_1$	$m_2$	$T$	$F$	$L$	漏分率/%	误分率/%	正确率/%
IKONOS 图像	胡氏不变矩	60787	59037	44875	15912	14161	23.99	26.18	73.82
	仿射不变矩	53332	59037	50183	3149	8854	18.69	26.93	94.10
WorldView 图像	胡氏不变矩	38384	34497	28048	10335	6449	15.00	5.90	73.07
	仿射不变矩	32769	34497	30211	2559	4286	12.42	7.80	92.20

根据表 2 中的精度计算可以得出利用仿射不变矩算法对高分辨率遥感图像建筑物的特征提取这一思路是可行且有效的, 并且图像中建筑物的排列越规则, 提取的效果就越显著。

### 4 结束语

本文将高分辨率遥感图像经过 Canny 边缘检测和标记分水岭算法处理后, 利用胡氏不变矩和仿射不变矩算法对图像中的建筑物进行提取。从最终的结果中可以看出, 利用仿射不变矩得到的提取效果更加显著, 对建筑物提取正确率最高可以达

到 94.10%, 进而证明了不变矩对高分辨率的遥感图像中的目标对象具有较好的提取能力。虽然利用不变矩算法能对图像中的目标具有较好的提取作用, 但仍存在一些误差和不足之处, 如图像分割时造成建筑物与周围其他地物分割在一起或者被分割成多个区域, 从而影响了该区域建筑物不变矩值的大小使其不能被提取出来; 特征提取阈值是人为设置的, 可能并没有达到最佳的提取点。因此实验还有待进一步的完善。

### 参考文献:

- [1] SONG K, TAI Jen-chao. Image-based traffic monitoring with shadow suppression[J]. Proceedings of the IEEE, 2007, 95(2): 413-426.
- [2] LEONE A, DISTANTE C, ANCONA N, et al. Texture analysis for shadow removing in video-surveillance systems[C]//Proc of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. [S. l.]: IEEE Press, 2004: 6325-6330.
- [3] HUANG Xin, ZHANG Liang-pei, LI Ping-xiang. Classification and extraction of spatial features in urban areas using high-resolution multispectral imagery[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2007, 4(2): 260-264.
- [4] 郭晓娟, 成继福. 基于形状特征的图像检索方法的研究与实现[J]. 河南科技学院学报: 自然科学版, 2010, 38(1): 93-96.
- [5] 刘慧娟, 何国金. 基于形状的高分辨率遥感图像特征提取方法[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(19): 26-63.
- [6] BENEDIKTSSON J A. Classification and feature extraction for remote sensing images from urban areas based on morphological transformations[J]. IEEE Trans on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41(9): 1940-1949.
- [7] 杨朝辉, 陈鹰. 引入影像重构的边缘检测算子性能评估方法[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2013, 38(4): 445-449.
- [8] 管宏蕊, 丁辉. 图像边缘检测经典算法研究综述[J]. 首都师范大学学报: 自然科学版, 2009, 30(s1): 66-69.
- [9] 孙红辉, 王红霞, 田涛. 一种基于不变矩和 BP 网络的目标识别方法[J]. 微电子学与计算机, 2011, 28(3): 63-65.
- [10] 张明媚. 面向对象的高分辨率遥感影像建筑物特征提取方法研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2012.
- [11] 周军其, 李志娟. 空间关系辅助的面向对象建筑物提取[J]. 应用科学学报, 2012, 30(5): 511-516.
- [12] 周亚男, 沈占峰, 骆剑承, 等. 阴影辅助下的面向对象城市建筑物提取[J]. 地理与地理信息科学, 2010, 26(3): 37-40.

(上接第 621 页)

- [6] 宋晓丽, 刘冀伟, 张晓星. 分布式视频编码的关键帧提取算法[J]. 智能系统学报, 2011, 6(6): 539-543.
- [7] 张晓星, 刘冀伟, 张波, 等. 分布式视频编码中基于帧间相关性的自适应关键帧选取算法[J]. 光电子·激光, 2010, 21(10): 1536-1541.
- [8] AARON A, ZHANG R, GIROD B. Wyner-Ziv coding of motion video [C]//Proc of the 36th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers. 2002: 240-244.
- [9] AARON A, RANE S, SETTON E, et al. Transform-domain Wyner-Ziv codec for video [C]//Proc of Visual Communications and Image Processing Conference. 2004: 520-528.
- [10] GIROD B, AARON A, RANE S, et al. Distributed video coding[J]. Proceedings of the IEEE, 2005, 93(1): 71-83.

- [11] PURI R, RAMCHANDRAN K. PRISM: a new robust video coding architecture based on distributed compression principles [C]//Proc of Annual Allerton Conference on Communication Control and Computing. 2002: 586-595.
- [12] PURI R, RAMCHANDRAN K. PRISM: an uplink-friendly multimedia coding paradigm [C]//Proc of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. 2003: 856-859.
- [13] ARTIGAS X, ASCENSO J, DALAI M, et al. The DISCOVER codec: architecture, techniques and evaluation [C]//Proc of Picture Coding Symposium. 2007.
- [14] 宋彬, 贺红, 刘海华, 等. Wyner-Ziv 视频编码中边信息生成算法研究[J]. 通信学报, 2010, 31(12): 97-103.
- [15] 王强. 视频编码中块匹配运动估计算法研究[D]. 太原: 山西大学, 2012.