

# 局部特征结合形状轮廓匹配的建筑物识别算法

王燕妮<sup>1</sup>, 王慧琴<sup>1</sup>, 王建平<sup>2</sup>

(1. 西安建筑科技大学 信息与控制工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 北京航空航天大学 软件学院, 北京 100191)

**摘要:** 针对经典不变特征提取算法时间较长的缺点, 提出一种局部特征结合形状轮廓匹配的建筑物识别算法。首先根据整体建筑物容易受到旋转、倾斜度的影响, 提取已知建筑物的局部特征点, 确定其方向, 对其位置、角度等进行矢量描述; 同时依据建筑物不同状态下的尺度变化信息, 制定任意形状轮廓匹配相似度准则及映射函数, 实现不同光照、不同尺度下的建筑物识别。仿真实验结果表明, 该方法可以快速、准确地适应不同环境下的建筑物识别。

**关键词:** 城市建筑物识别; 局部特征; 轮廓匹配; 尺度信息

中图分类号: TP391

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2017)05-0752-05

## A building recognition algorithm based on local feature and shape contour matching

WANG Yanni<sup>1</sup>, WANG Huiqin<sup>1</sup>, WANG Jianping<sup>2</sup>

(1. School of Information and Control Engineering, Xi'an Univ. of Arch. & Tech. Xi'an 710055, China;

2. School of software, Beihang University, Beijing 100191, China)

**Abstract:** In order to overcome the shortcomings of the traditional feature extraction algorithm, a building recognition algorithm based on local feature and shape contour matching is proposed. First of all, according to the influence of the rotation and inclination of the whole building, the local feature points of the buildings are extracted, the direction determined, and its position and angle described by vectors. At the same time, according to the scale change information in different states of the building, the similarity criterion and mapping function of arbitrary shape contour matching are formulated to realize the recognition of buildings with different illumination and different scales. The simulation results show that the proposed method can help identify buildings quickly and accurately in different environments.

**Key words:** urban building recognition; local feature; contour matching; scale information

随着个人数字终端系统中定位、导航以及摄像等功能的不断升级, 在不同环境下对城市建筑物快速识别的需求也日益增长。目前手机等移动设备获取城市各种建筑物图像信息的成本越来越低, 如果利用手机获取所处环境的图像, 将其输入识别系统, 通过建筑物识别则可以确定自身所处的位置。

建筑物识别容易受到视点、光照等的影响。对于同一建筑物, 如果视点不同, 则会因为倾斜度、旋转等变化引起图像信息有差异。对于不同的天气以及一天中不同的时间段, 拍摄的照片因为光照变化而发生颜色的变化。建筑物图像有很多的特征可用来识别, 因此需要提出具备视点不变性、适应光照差异以及实时的、准确的匹配识别算法。

近年来, 国内外的研究学者对建筑物识别算

法进行了大量的研究, 提出了很多可行的方法。2009 年, Google<sup>[1]</sup> 发布了利用手机摄像的建筑物目标识别技术, 识别准确率达到 80% 以上。文献[2-3]分析比较建筑信息模型, 对物体进行识别。文献[4]通过对建筑物颜色和形状分析进行信息提取。文献[5]利用模式识别对位置信息进行分类识别。文献[6-8]采用高分辨率 SAR 卫星数据和三维建模对建筑物进行信息重构。文献[9]利用拍摄实时图像的建筑物特征轮廓线与数据库提取的轮廓线进行比较并匹配, 匹配概率高的作为识别目标。文献[10]采用经验知识结合图像特征进行建筑物识别, 达到了较好的效果。文献[11-12]提取建筑物模型特征, 进行分析比较并识别物体。针对以上文献中不变特征提取的误差以及时间较长的缺点, 本文提出局部特征结合形状轮廓匹配(local feature

and shape contour matching, LFSCM)的建筑物识别算法。

## 1 局部特征的提取

建筑物可以划分为许多有具体意义的角点、棱角、棱边等重要特征的小部分,通过分析这些小部分信息进行物体的识别。建筑物的形状是立体的,通过提供的建筑物图像形状信息,可以得到建筑物的方位检索。因此,对于建筑物的识别,考虑有意义的角、棱、边等信息、尺度的不变特性以及光照情况下的不变性等非常重要。

近几年来,对于物体局部特征信息的研究出现了很多的方法以及成果,例如 SIFT、Harris 角点、GLOH、SURF 等。本文通过尺度不变特征变换 SIFT(Scale Invariant Feature Transform)提取建筑物图像特征角点等局部信息,分析、测度其特性、检测并识别建筑物信息。

SIFT 是提取图像局部信息特征的算法,通常在尺度变换空间中找出极值点,记录尺度、方位及旋转位移量。SIFT 特征对采集图像局部特征的平移、尺度变换、角度、光照变化等具有不变性,对视点的不断变化及噪声等有很好的稳定性。建筑物少量角点可以对应丰富的 SIFT 向量,有助于匹配识别,实时性较好。

SIFT 算法提取特征步骤:

### (1)寻找极值点

为了使建筑物具有尺度不变特性,需要在多尺度空间中检测特征点。对于一幅拍摄的二维图像信息  $f(x, y)$ ,其尺度空间表示为

$$M(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) * f(x, y) \quad (1)$$

其中,  $G(x, y, \sigma)$  为尺度可变高斯函数,定义为

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2} \quad (2)$$

且  $(x, y)$  是像素点位置,符号  $*$  表示卷积,  $\sigma$  是尺度空间因子,其值越小尺度越小。大尺度反映图像的总特征,小尺度表示图像的细微特征。

采用尺度可变高斯函数与输入图像信号的卷积运算得到的高斯差分(Difference of Gaussian,

DOG)函数来寻找建筑物图像的特征点,设  $\lambda$  为尺度因子。

$$D(x, y, \sigma) = (G(x, y, \lambda\sigma) - G(x, y, \sigma)) \times f(x, y) = M(x, y, \lambda\sigma) - M(x, y, \sigma) \quad (3)$$

寻找极值点时,每一个采样点需要与其周围的相邻点进行比较。如图1所示,若尺度大小选用一个单位,则中间采样点周围及上下的相邻点有26个点可以进行比较,这样保证在尺度空间和图像空间检测到极值点。通过计算相邻尺度空间高斯差分函数,进行比较选择相邻尺度的极值点作为匹配的特征点,完成检测。

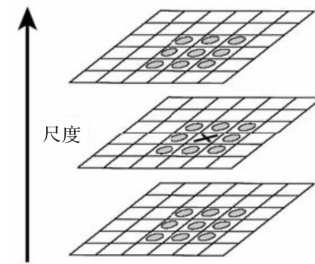


图1 DoG 尺度空间局部极值检测

Fig. 1 Local extremum detection in DoG scale space

### (2)定位特征点

计算特征点的拟合函数:

$$D(X) = \frac{1}{aX^2 + bX + c} \quad (4)$$

其中,  $a$ 、 $b$ 、 $c$  为拟合系数,则拟合函数的变换关系为

$$\bar{D}(X) = \frac{1}{D(X)} \quad (5)$$

$$\bar{D}(X) = aX^2 + bX + c \quad (6)$$

一般情况下,可以通过  $\bar{D}(X)$  的值排除建筑物中对比度不明显的特征点。当  $|\bar{D}(X)| < 0.05$  时,特征点作为临界点,并且进行排除。这样在不断反复排除的过程中,获得特征点的确定位置。

### (3)确定特征点方向

由于拍摄建筑物通常在不同的角度下进行,因此描述信号需要满足一定的旋转不变性,在此利用局部特征给每个特征点分配不同的方向。

根据特征点的邻域像素梯度及方向分布,计算梯度模值和方向:

$$A(x, y) = \sqrt{(m(x+1, y) - m(x-1, y))^2 + (m(x+1, y+1) - m(x+1, y))^2} \quad (7)$$

$$\theta(x, y) = \tan^{-1}((m(x+1, y+1) - m(x+1, y)) / (m(x+1, y) - m(x-1, y))) \quad (8)$$

其中,尺度  $m$  是特征关键点的尺度。在特征关键点的邻域窗口内进行采样,采用直方图表示像素的梯度方向。梯度方向分布区间为  $0 \sim 360^\circ$ ,每

$10^\circ$  表示一个方向,则有 36 个不同的方向。直方图的峰值表示特征点邻域梯度的主方向,即是特征关键点的方向。

#### (4)生成特征点描述子

计算每一个特征关键点的信息位置、尺度以及方向,得到描述符,使其不随视角、光照等情况变化而改变,以提高特征点准确匹配的效果。

将关键点方向设为坐标轴方向,保证旋转不受影响。在关键点周围的  $8 \times 8$  或  $16 \times 16$  范围内,表示每个宏块的梯度方向和模值;计算  $4 \times 4$  或  $8 \times 8$  小方块范围内的梯度直方图及方向向量。

## 2 不规则形状轮廓匹配算法

### 2.1 定义尺度图像及匹配相似度准则

当标准图像与拍摄图像的 SIFT 特征向量生成以后,则可采用特征点的欧式距离来度量相似性。取标准图像中的其中一个特征点,并找出与拍摄图像欧式距离相距最近的两个关键点,如果最近的距离与次近的距离误差低于设定阈值,则认为是一对匹配点。减少阈值大小,匹配点数目则会减少,但匹配效果更加逼真。

由于拍摄建筑物目标的活性,目标中的每个小部分都在不同程度地旋转和移动。设  $R_i$  为待识别建筑物部分,  $S_j$  为标准图像中模板区域。

$$R_i = kS_j + b \quad (9)$$

其中,  $k$  为宽度的调整参数,  $b$  为幅值调整参数,一般情况下,  $1 \leq k, b \leq 3$ , 这样当建筑物目标尺度增大或者缩小时,可以通过调整  $k$  和  $b$  值,达到匹配。

$$MSE(S, R) = \frac{1}{n} \sum_n (kS_j + b - R_i)^2 \quad (10)$$

即求  $MSE(S, R)$  的极小值,则认为  $R_i$  找到匹配块  $R_j$ 。

### 2.2 构建不规则形状在结构上的自相似性,制定映射函数,进行多边形重组匹配

设在标准参考图像中,通过像素的梯度矩阵找到目标像素值突变的像素点。设坐标系  $y = f(x)$ ,  $x$ 、 $y$  分别为其横、纵坐标。任意选取一个点  $k$  作为目标周长的点,则表示为

$$w(k) = x(k) + jy(k) \quad (11)$$

$k$  点所处的边缘切线角  $\phi(k)$  为

$$\tan[\phi(k)] = \frac{dy(k)}{dx(k)} \quad (12)$$

$k$  点处的曲率  $s(k)$  为

$$s(k) = \frac{d\phi(k)}{dk} \quad (13)$$

$$\phi(k) = \int s(k) dk \quad (14)$$

因为建筑物轮廓是闭合的,所以当  $k$  增加时,

曲率  $s(k)$  为一个周期函数,周期则等于周长  $T$ , 频率是  $2\pi/T$ 。

采用傅立叶变换展开周期函数  $s(k)$ , 则

$$s(k) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} K_n e^{jn(\frac{2\pi}{T})k} \quad (15)$$

$$K_n = \frac{1}{T} \int_0^L s(k) e^{-jn(\frac{2\pi}{T})k} dk \quad (16)$$

这里系数  $K_n$  代表曲线的轮廓形状,此描述具有旋转、平移等特点。

提取建筑物形状轮廓,首先选取匹配起点。对于形状比较规则的建筑物,通常选取建筑物轮廓底部中心位置为起点。外观不规则的目标通常是轮廓切线的作用力趋势控制着图像边界。计算轮廓  $(x_0, y_0)$  处的切线方向  $\vec{v}(x_0, y_0)$ , 设其变化较大处为起点 0。

$$\vec{v}(x_0, y_0) = \frac{y - y_0}{x - x_0} \quad (17)$$

$$l_0 = \max(\vec{v}(x, y)) \quad (18)$$

定义标准模板的识别匹配距离  $d_{i,i+1}(S)$ :

$$d_{i,i+1}(S) = \int_0^1 |s_i(S) - s_{i+1}(S)|^2 dS \quad (19)$$

拍摄照片轮廓的识别匹配距离  $d_{i,i+1}(R)$ :

$$d_{i,i+1}(R) = \int_0^1 |s_i(R) - s_{i+1}(R)|^2 dR \quad (20)$$

分析整个建筑物目标形状轮廓,对  $d_{i,i+1}$  进行统计,则

$$D(S) = \sum_S d_{i,i+1}(S), D(R) = \sum_R d_{i,i+1}(R) \quad (21)$$

计算所有标准模板  $S$  和随机拍摄图像  $R$  的间隔距离  $D(S, R)$ 。

$$D(S, R) = |d_{i,i+1}(S) - d_{i,i+1}(R)| \quad (22)$$

根据  $D(S, R)$  的值,在不同的尺度下,制定任意形状自适应匹配准则,设置阈值。通过多次实验,当尺度  $\lambda$  在  $10 \sim 30$  的缩放范围内时:

若  $D(S, R) < 15$  (23) 则确认两个小区间匹配,依次对拍摄图像中的所有像素进行统计并比较,确定建筑物目标。

## 3 仿真分析

在以上研究方案的基础上,基于 Intel(R) Core(TM) i5-3210M CPU 2.50 GHz, 4 GB RAM, 250 GB Hard Drive 的系统,对手机获取的数据,包括自拍照片以及公开的网络数据,进行仿真实验验证,测试开发的建筑物识别算法的合理性和有效性,进一步优化算法性能。

实验 1: 不同角度的建筑物识别

采用局部特征结合形状轮廓匹配的建筑物识

别算法对手机自拍的不同角度的建筑物数据进行识别. 选择陕西著名代表性建筑钟楼, 在不同的方位及角度对钟楼进行拍摄, 得到的数据与图像标准库的数据进行局部特征结合形状轮廓匹配, 识别结果如图 2 所示.

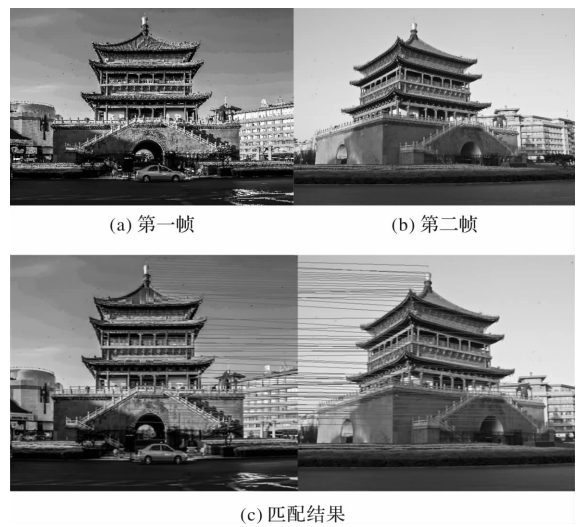


图 2 不同角度的建筑物识别结果

Fig. 2 Building recognition in different angles

实验 2: 不同尺度的建筑物识别

采用局部特征结合形状轮廓匹配的建筑物识别算法对手机自拍的不同尺度的建筑物数据进行识别. 选择湖北省享有“天下江山第一楼”的黄鹤楼, 采用不同的尺度进行拍摄, 对得到的数据应用局部特征结合形状轮廓匹配识别算法, 结果如图 3 所示.

实验 3: 不同建筑物识别效果

采用局部特征结合形状轮廓匹配的建筑物识

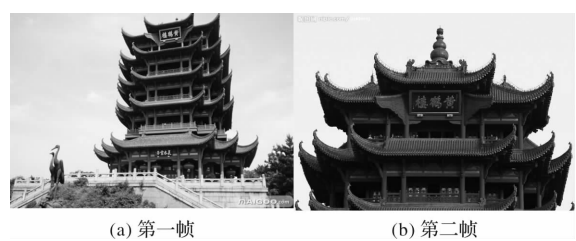


表 1 匹配融合率、运行时间的比较

Tab. 1 Comparison of matching fusion and running time

建筑物序号	SIFT 算法		LFSCM 算法	
	融合率/%	运行时间/s	融合率/%	运行时间/s
1	$P_{S1}=90.37$	$T_{S1}=0.21$	$P_{L1}=95.56$	$T_{L1}=0.03$
2	$P_{S2}=88.69$	$T_{S2}=0.35$	$P_{L2}=92.81$	$T_{L2}=0.11$
3	$P_{S3}=91.43$	$T_{S3}=0.17$	$P_{L3}=94.23$	$T_{L3}=0.07$
4	$P_{S4}=92.35$	$T_{S4}=0.12$	$P_{L4}=96.90$	$T_{L4}=0.15$
5	$P_{S5}=93.15$	$T_{S5}=0.26$	$P_{L5}=97.33$	$T_{L5}=0.09$

以上实验采用局部特征结合形状轮廓匹配的建筑物识别算法对各种不同的情况下建筑物提取



图 3 不同尺度的建筑物识别结果

Fig. 3 Building recognition in different scales

别算法对手机自拍的不同建筑物数据进行识别. 选择位于湖南省的岳阳楼作为标准匹配模板, 对手机拍摄到的江南楼阁进行局部特征结合形状轮廓匹配, 结果如图 4 所示.

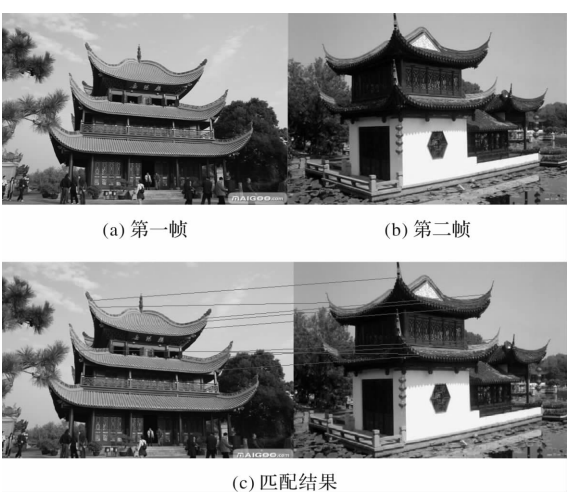


图 4 不同的建筑物识别结果

Fig. 4 Recognition results of different building

实验 4: 匹配融合率以及运行时间的比较

采用局部特征结合形状轮廓匹配 (LFSCM) 的建筑物识别算法和尺度不变特征变换 (SIFT) 算法分别对拍摄的一组建筑物进行识别, 比较两种算法的匹配融合率并计算其运行时间. SIFT 算法的融合率以及运行时间用  $P_{Si}$  和  $T_{Si}$  表示, LFSCM 算法的融合率以及运行时间用  $P_{Li}$  和  $T_{Li}$  表示, 得到如下表 1 所示.

信息进行匹配识别. 在实验1和实验2中, 对于拍摄的不同角度、不同尺度的建筑物, 局部特征结合形状轮廓匹配识别算法匹配点数对分别达到了50对以上, 同时算法也兼顾了不同光照情况下的角度及尺度变化, 成功识别建筑物. 在实验3中, 对于不同的建筑物, 新算法的匹配点数对小于10对, 没有达到成功识别. 在实验4中, 对于同一组建筑物, 分别采用局部特征结合形状轮廓匹配识别算法和尺度不变特征变换算法进行识别, 通过比较两种算法的融合率以及运行时间, 结果显示, 新算法的识别融合率较高、运行时间较短

#### 4 结语

本文提出局部特征结合形状轮廓匹配的建筑物识别算法. 首先根据建筑物的局部信息在角度转换及环境的影响下不易受到变化的特征, 提取并描述建筑物的特征值; 然后根据建筑物不同尺度的形状变化信息, 制定任意形状的轮廓匹配规则, 设置相应的参数及形状矢量, 实现不同环境下的建筑物整体或部分的准确匹配识别. 仿真实验结果表明, 该方法对不同角度、不同尺度以及不同光照等情况下有很好的识别效果.

#### 参考文献 References

- [1] YE H T, LEE J J, DARRELL T. Fast concurrent object localization and recognition[C]// Computer vision and pattern recognition, IEEE Conference on. CVPR 2009. New York: IEEE, 2009: 280-287.
- [2] KACUR J, ROZINAJ G. Building accurate and robust HMM models for practical ASR systems[J]. Telecommunication Systems, 2013, 52(3): 1683-1696.
- [3] SHOU Wenchu, WANG Jun, WANG Xiangyu. A comparative review of building information modelling implementation in building and infrastructure industries[J]. Archives of Computational Methods in Engineering, 2015, 22(2): 291-308.
- [4] GANPATRAO N. G, GHOSH J. K. Information extraction from topographic map using colour and shape analysis[J]. Sadhana, 2014, 39(5): 1095-1117.
- [5] GRONAT P., SIVIC J., OBOZINSKI G, et al. Learning and calibrating perlocation classifiers for visual place recognition[J]. International Journal of Computer Vision, 2016, 118(3): 319-336.
- [6] BALZ T, LIAO M S. Building damage detection using post seismic high resolution SAR satellite data[J]. International Journal of Remote Sensing, 2010, 31(13): 3369-3391.
- [7] STEINHAGE V., BEHLEY J., MEISEL S. et al. Reconstruction by components for automated updating of 3D city models[J]. Applied Geomatics, 2013, 5(4): 285-298.
- [8] WU Hao, CHENG Zhiping, SHI Wenzhong, et al. An object-based image analysis for building seismic vulnerability assessment using high resolution remote sensing imagery[J]. Natural Hazards, 2014, 71(1): 151-174.
- [9] 李松霖, 范海生, 陈秀万. 基于特征线匹配的城市建筑物识别方法研究[J]. 遥感技术与应用, 2012, 27(2): 190-196.  
LI Songlin, FAN Haisheng, CHEN Xiuwan. Research of urban building recognition method based on line features matching[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2012, 27(2): 190-196.
- [10] 张永梅, 季艳, 马礼, 等. 遥感图像建筑物识别及变化检测方法[J]. 电子学报, 2014, 42(4): 653-657.  
ZHANG Yongmei, JI Yan, MA Li, et al. A recognition and change detection method for building in remote sensing images [J]. Acta Electronica Sinica, 2014, 42(4): 653-657.
- [11] 宋阳, 李昌华, 马宗方, 等. aIB算法在古建筑信息模型特征提取中的应用与研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2016, 48(4): 606-609.  
SONG Yang, LI Changhua, MA Zongfang, et al. Application and research of aIB algorithm in ancient building information model feature extraction[J]. J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition), 2016, 48(4): 606-609.
- [12] 樊舒迪, 胡月明, 刘振华. 一种新的面向对象城市建筑物信息提取方法研究[J]. 华南师范大学学报(自然科学版), 2015, 47(6): 91-97.  
FAN Shudi, HU Yueming, LIU Zhenhua. Research of information extraction of city building based on a new object-oriented method[J], Journal of South China Normal University (Natural Science Edition), 2015, 47(6): 91-97.

(编辑 沈 波)