一种基于模糊决策的矩形目标提取算法

毛 峡 赵兴圆 沈 巍

(北京航空航天大学 电子信息工程学院, 北京 100191)

摘 要: 航空图片中的城市建筑物屋顶一般为矩形或平行四边形,能准确而快速地提取矩形,无论在军事上还是民用上都具有非常重要的意义.针对从航空图像中自动提取矩形建筑物目标的问题,提出了一种基于模糊决策的矩形目标提取方法.首先根据直线提取方法得到的直线特征集生成假设矩形空间,进而采用模糊数学方法进行证据融合得到决策信息,并对生成的假设矩形进行选择与验证,得到矩形目标结构特征.实验结果表明,该算法避免了固定阈值的设定,适应性强,鲁棒性好,有较强的实际应用价值.

关 键 词: 矩形建筑物; 感知分组; 模糊决策; 阈值

中图分类号: TP 391

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2008)06-0699-04

Extraction method of rectangular building based on fussy decision-making

Mao Xia Zhao Xingyuan Shen Wei

(School of Electronics and Information Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: The roof of the building in aerial image is generally rectangle or parallelogram. It makes a significance sense to extract the rectangle accurately and fast, either in military aspect or in civilian aspect. A method based on fussy decision-making for extraction of rectangular buildings from the aerial images was proposed. Firstly, the presumed rectangular space was generated via line feature, which was resulted from beeline-extraction of the aerial image. Then, the support evidences which were get from the image were combined by fussy mathematic method in order to obtain decision-making information. Finally, the generated rectangle was selected and validated according to the decision-making information. This arithmetic uses the non-fixed threshold value to select the supporting evidences to improve the validity. The results of performance assessment also possess the robustness and high extraction rate of the approach developed.

Key words: rectangle building; perceptual grouping; fussy decision-making; threshold

从航空图像中自动提取建筑物目标在图像处理中占有非常重要的地位.建筑物是城市区域的重要特征,从城区环境中提取建筑物在城市地图绘制、城市区域规划、地理信息工程中有着广泛的应用[1].城市中的建筑物形状复杂多样,如圆弧、椭圆、三角形、四边形等,其中最广泛的是矩形房屋结构.

由于计算机视觉及图像理解方面的发展还无法达到足以解决建筑物目标识别定位的程度,所以目前对建筑物目标的提取还主要使用半自动提取的方法,其中常用的方法主要有:①几何约束与影像分割法[2].该方法将几何约束与影像分割相结合,快速提取矩形屋顶,是适用面最广和最稳健的方法,但是该方法的自动化程度低,操作不方便.②区域分割法[3].该方法基于折线逼近和感知分组提取矩形边缘,然后按照"二叉树"的数据结构,利用超线对建筑物影像进行区域分割.其不足之处是对建筑物影像进行区域分割时难于把握.③角点检测法[4].以建筑物的角点为线索提取矩形,这种方法对简单图形快速有效,但不太适用于

收稿日期: 2007-05-22

作者简介: 毛 峡(1952—),女,浙江义乌人,教授,moukyou@buaa.edu.cn.

复杂图形.④基于感知组织的分类和配对方法[5].Huertas 和 Nevatia 构造了一个从底层到顶层的建筑物提取方法.对各层特征分别进行限制,前一级提取的特征对后面的结果产生影响.⑤基于数据融合的方法[6].该方法基于数据融合,将图像处理与其它支持数据结合起来,达到正确识别建筑物的目的.其不足之处在于支持数据对正确提取建筑物目标有很大的影响.本文提出的是一种基于模糊决策的矩形目标检测方法.在对待选矩形进行决策时,采用模糊决策的方法避免了对各种证据进行固定阈值设定的不合理性,代之以不确定性的表示方法,因而使算法具有更好的适应性.检测结果表明,该方法对提取矩形房屋具有较高的准确率.

1 算法的基本原理

本文提出的矩形目标的提取算法,首先采用 canny 算子[7]对图片进行处理,从输入图像中提取低级别的图像特征,得到直线特征集;然后采用感知组织原理对直线特征集进行感知分组,生成假设矩形空间;最后,采用模糊数学的方法[8]对若干支持证据进行证据融合,得到决策信息,并根据决策信息对生成的假设矩形进行选择与验证,最终得到矩形目标的结构特征.

2 矩形目标结构特征的检测与提取

矩形结构的显著特点是由直角和平行边构成,将直角的角点和平行边对作为比图像直线特征高一级的结构特征进行检测与提取.在此基础上,通过进一步感知组织,便可以得到更高一级的显著结构特征,即矩形结构特征.

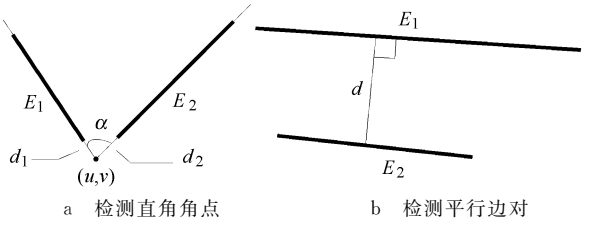
2.1 直角角点和平行边对的检测

1) 直角角点检测

假设直线段 E_1,E_2 或其延长线相交于一点 (u,v),且其夹角为 α,如图 1a 所示.若认为线段 E_1 与 E_2 的交点为一直角角点,则必须满足以下几个条件:①线段 E_1,E_2 离交点较近的端点到交点的距离 d_1,d_2 必须均足够小,即限制在某一个特定的范围之内,在本文中规定为 2 个像素;②线段 E_1,E_2 本身的长度必须远大于 d_1,d_2;③线段 E_1,E_2 之间的夹角 α 近似为 90°(在本文中允许 5°~10°偏差),即线段 E_1 与 E_2 在实际情况下是相互垂直的,则采用相应的数据结构对其进行保存.

2) 平行边对检测

假设直线段 E_1,E_2 在图像空间内不存在交点或者其延长线的交点在足够远处,如图 1b 所示.当线段 E_1 与 E_2 满足以下约束条件时,则认为二者为一平行边对,并对其进行保存.



a 检测直角角点　　b 检测平行边对

图 1 直角角点和平行边对的检测

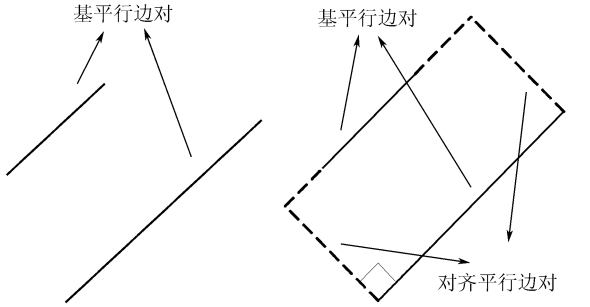
① 线段 E_1,E_2 的夹角在 5°~10°以内;

② 线段 E_1,E_2 之间的垂直距离 d 必须大于屋顶的最小投影距离而小于最大投影距离,屋顶的最大和最小投影距离可由实际图像进行估算.

2.2 生成假设矩形空间

获得更高一级的直角角点和平行边对特征后,便可以在此基础上考察图像中是否存在矩形,在本文中,假设矩形空间的生成过程主要有以下几个步骤.

第一步:定义一组候选平行边对为基平行边对,如图 2a 所示.并考察基端点,判断 4 个端点中哪两个是最外围的.即判断以哪两个端点为基础去生成矩形剩下的一组平行边对.



a 基平行边对　　b 假设矩形

图 2 假设矩形生成示意图

第二步:确定过这两个端点的、与基平行边对垂直的另外一组平行边对,并称其为对齐平行边对,如图 2b 所示.对齐平行边对与基平行边对所形成夹角必须满足直角限制条件.

第三步:根据相关条件确定对齐平行边对两条直线的直线方程,进而计算出假设矩形的 4 个直角角点坐标,并采用相应的数据结构进行存储,便得到一个假设矩形的集合.

2.3 图像中矩形结构的确定

得到假设矩形空间后,把具有最强证据支持的那些假设选取出来作为图像中矩形结构特征的提取结果.由于一个待选的假设矩形,只存在"是"或者"不是"两种取值,其获得的证据支持越强,取

值为“是”的可能性越大,反之,则越小,因此,在两种取值的选择上具有一定的模糊性.采用模糊决策的方法避免了对各种证据进行固定阈值设定的不合理性,代之以不确定性的表示方法,因而使算法具有更好的适应性.

考虑任一假设矩形 R,定义 3 个证据支持条件来判断其是否为图像中实际存在的矩形,如图 3 所示.为了便于应用模糊数学的方法进行信息融合,每个证据支持给出的结果表示该矩形是否为真实矩形的隶属度.

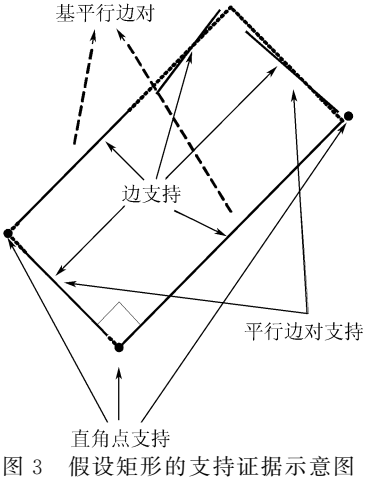


图 3　假设矩形的支持证据示意图

1)直角角点支持,即在假设矩形每个角点的某邻近范围内(本文规定为 5 个像素)是否存在一个实际的直角角点,实际存在的直角角点越多,则对假设矩形的支持程度越高.假定当在假设矩形每个角点(共 4 个)的邻近范围内均存在一个实际的直角角点时,隶属度函数值为 1,则直角角点支持的隶属度函数定义为式(1).

$$\mu_1(x)=\begin{cases}\dfrac{x}{4} & x=0,1,2,3,4\\ 0 & \text{其它}\end{cases} \tag{1}$$

其中 x 为满足要求的实际存在直角角点的个数.隶属度函数示意图如图 4a 所示.

2) 平行边对支持,是指在假设矩形对齐平行边对的边界上或者附近可以找到一对相互平行且有部分重叠的线段作为支持的证据.如果找到的所有平行边对重叠部分的长度和相对于两条对齐平行边长度和的百分比越大,则对假设矩形的支持程度越高,并将百分比作为隶属度函数的值.平行边对支持的隶属度函数如式(2)所示,函数示意图如图 4b 所示.

$$\mu_2(x)=\begin{cases}\dfrac{x}{2l} & 0\leqslant x\leqslant 2l\\ 0 & \text{其它}\end{cases} \tag{2}$$

其中,x 为符合要求的所有平行边对重叠部分长度之和;l 为对齐平行边的长度.

3) 边支持,是指在假设矩形的边界上或者附近可以找到一条单独的边作为支持的证据.这样的边可能不止一条,也可能找到的很少.很明显,找到的边越多,则对假设矩形的支持度越高.用所找到的所有单边的长度和相对于假设矩形周长的百分比作为隶属度的函数值,则边支持的隶属度函数定义为

$$\mu_3(x)=\begin{cases}\dfrac{x}{2(l+w)} & 0\leqslant x\leqslant 2(l+w)\\ 0 & \text{其它}\end{cases} \tag{3}$$

其中,x 为所找到的所有单边的长度和;l 和 w 分别为假设矩形的长和宽.隶属度函数示意图如图 4c 所示.

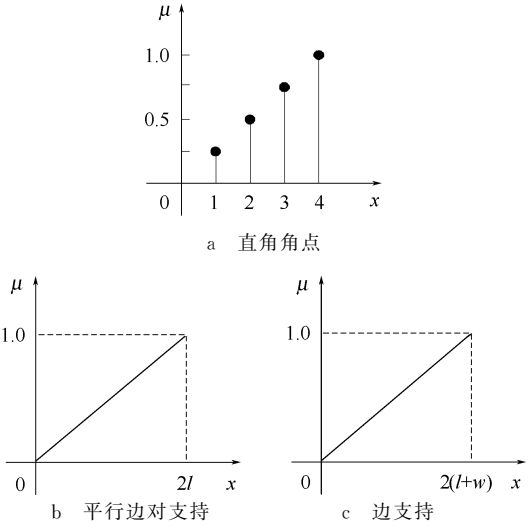


图 4　各证据支持的隶属度函数曲线

上述定义的 3 个关于一个假设矩形是否为图像中实际矩形的隶属度函数,通过计算,可分别得到对假设矩形的支持程度.采用融合策略公式(4)对各个证据支持提供的支持程度进行模糊融合,得到判决结果.当判决结果 $S>0$ 时,认为假设矩形为图像中实际存在的矩形,并予以保留;当判决结果 $S\leqslant 0$ 时,则舍弃当前假设矩形.

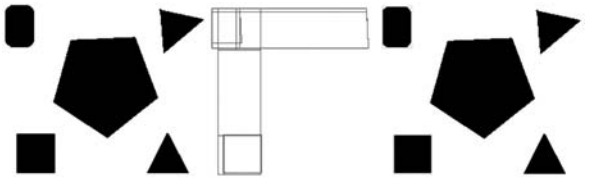
$$S=\sum_{i=1}^{3}[\mu_{H1i}(x)-\mu_{H0i}(x)] \tag{4}$$

其中,$\mu_{H1i}(x)$为第 i 个判别式得到的支持矩形的隶属度值;$\mu_{H0i}(x)$为第 i 个判别式得到的不支持矩形的隶属度值.

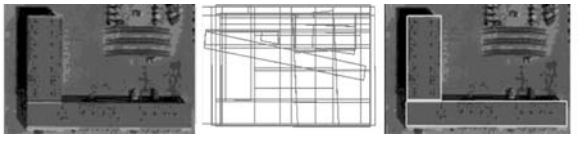
3　实验结果及分析

采用大量仿真图像和真实图像对本文算法进行了实验.图 5 为对仿真图像和真实图像进行矩形结构特征提取的中间结果和最终结果,其中图

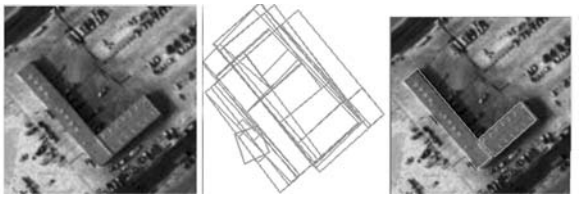
5c、图5f和图5i为最终的矩形提取结果，并将其与原图像进行了复合. 表1是对图5中的仿真图像和真实图像进行矩形特征提取的统计结果，包括假设矩形和最终提取的矩形个数等. 从实验结果可以看出，在考虑直线提取误差的基础上，本文算法可以有效地检测和提取出仿真图像和真实图像中的矩形结构，具有良好的效果.



a 原图 b 矩形假设结果 c 矩形提取结果



d 原图 e 矩形假设结果 f 矩形提取结果



g 原图 h 矩形假设结果 i 矩形提取结果

图5 对仿真图像和真实图像进行矩形特征提取的结果

表1 对仿真图像和真实图像进行矩形特征提取的统计

图片编号	假设矩形个数	提取矩形个数	真实存在矩形个数
a	13	2	2
d	61	2	2
g	53	2	2

4 结束语

矩形或由矩形基元构成的建筑物目标的识别，在现代生活和军事上均有极其重要的意义，本文提出的基于模糊决策的矩形目标提取算法，是基于感知组织原理，不断地将从目标下视图像中提取的目标顶部特征由低级向高级聚合，用模糊决策的方法避免了对各种证据进行固定阈值设定的不合理性，代之以不确定性的表示方法，从复杂的图像背景中提取出目标的矩形结构特征. 本文方法具有一定的智能性和较强的抗干扰性. 实验结果亦表明本文的方法效果良好，将有利于更高层次的图像分析工作.

参考文献（References）

[1] 陶文兵，田岩，张钧，等. 航空图像矩形建筑物自动提取方法研究[J]. 宇航学报，2003，24(4)：341－348
Tao Wenbing, Tian Yan, Zhang Jun, et al. The technique for automated rectangle building extraction from aerial images[J]. Journal of Astronautics, 2003, 24(4): 341－348(in Chinese)

[2] 张煜，张祖勋，张剑清. 几何约束与影像分割相结合的快速半自动房屋提取[J]. 武汉测绘科技大学学报，2000，25(3)：238－242
Zhang Yu, Zhang Zuxun, Zhang Jianqing. House semi-automatic extraction based on integration of geometrical constraints and image segmentation[J]. Journal of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping, 2000, 25(3): 238－242(in Chinese)

[3] 周俊，晏非，孙曼. 基于区域分割合并的建筑物半自动提取方法[J]. 海洋测绘，2005，25(1)：58－60
Zhou Jun, Yan Fei, Sun Man. Semi-automatic extraction of building based on region segmenting and merging[J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2005, 25(1): 58－60(in Chinese)

[4] Huertas A, Nevatia R. Detection building in aerial images [J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1988, 41(2): 131－152

[5] Lin C, Huertas A, Nevatia R. Detection of building using perceptual grouping and shadows [C]//IEEE Proceeding of Computer Vision and Pattern Recognition. Seattle, WA: IEEE Press, 1994: 62－69

[6] Xie Minghong, Fu Kun, Wu Yirong. Building recognition and reconstruction from aerial imagery and LIDAR data [C]//Radar 2006 CIE'06 International Conference. Shanghai: [s. n.], 2006: 1－4

[7] Canny. A computational approach to edge detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6): 679－698

[8] 曹谢东. 模糊信息处理及应用[M]. 北京：科学出版社，2003
Cao Xiedong. Fuzzy information proceeding and application [M]. Beijing: Science Press, 2003(in Chinese)

（责任编辑：娄 嘉）