

中图分类号: TP391.4 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2011)04-0579-07

论文索引信息: 杨淼, 龚成龙, 魏志强. 形态学尺度空间城市建筑物自动分类算法 [J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(4): 579-585

形态学尺度空间城市建筑物自动分类算法

杨淼^{1,2)}, 龚成龙¹⁾, 魏志强²⁾

¹⁾(淮海工学院电子工程学院, 连云港 222005) ²⁾(中国海洋大学信息科学与工程学院, 青岛 266100)

摘要: 建筑物类型的确定可为3维重建、图像检索等提供重要依据, 而实现其自动判断往往是困难的。通过分析城市建筑物中两大基本类型建筑物的角点特点, 利用大尺度形态筛获得初步轮廓区域; 通过改进 Hough 变换和提出的线段、角点优化算法, 对各类型角点进行统计, 实现数码相机拍摄的平顶和非平顶建筑物的自动分类。通过对几十幅采集的建筑物图像进行实验证明, 提出的线段优化算法可以有效消除错误轮廓线的影响, 进而实现建筑物类型判断, 准确率可以达到80%。

关键词: 图像分类; 轮廓提取; 角点检测; Hough

The automatic classification algorithm for urban buildings based on morphological scale-space

Yang Miao^{1,2)}, Gong Chenglong¹⁾, Wei Zhiqiang²⁾

¹⁾(The Department of Electronic Engineering of Huaihai Institute of Technology, Lianyungang 222005 China)

²⁾(The School of Information Science and Engineering of Ocean University, Qingdao 266100 China)

Abstract: Obtaining the type of a building automatically is significant for 3D modeling and image retrieval, but it is very difficult. In this paper, a new automatic urban building classification algorithm is proposed. This work analyzes the corner characteristic of common city buildings, applies morphological sieves of large scale to obtain rough contours. Then it uses a new segment and corner optimization process to count all kinds of corners, and realizes the automatic distinguish of flat roof buildings and non-flat buildings. The tests of dozens of images demonstrate the validity and effectiveness of the proposed segments optimization approach. The results indicate that it can achieve over 80% accuracy on type judgment with the presented method.

Keywords: Image classification; contour extraction; corner detection; Hough

0 引言

完成建筑物图像分类, 对图像检索、3维建模、建筑物的检测与识别都具有重要意义。目前城市中大部分基本建筑物为平顶类型的箱式建筑物、人字形屋顶的建筑物和双面人字形屋顶建筑物。因此在

基本建筑物的3维建模实现过程中, 若能根据数码相机拍摄的建筑物图像确定建筑物的模型类型, 则可为模型的重建提供重要依据。

目前国内外对建筑物分类的研究多是由于图像检索等方面的图像场景分类, 采用机器学习和概率的方法实现对海洋风景、山脉图像、城市建筑图像等多种图像的区别^[1-2], 而对图像中的建筑物属于哪

收稿日期: 2009-11-23; 修回日期: 2010-03-07

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)目标导向课题项目(2008AA12Z3475788); 科技部国际合作重点项目(2008DFA11030); 淮海工学院引进人才科研启动基金资助项目。

第一作者简介: 杨淼(1979—), 女, 副教授。2009年获中国海洋大学地图学与地理信息系统专业博士学位, 主要研究方向为计算机视觉、图像分析、模式识别等。E-mail: lemonmiao@gmail.com。

一种的具体研究很少。也有一些建筑物提取和实现 3 维重建的文献中涉及了建筑物类型的选择,但其分类的方法或是需要人机交互^[3],或利用航拍图像结合 DEM 完成屋顶模型匹配^[4],还有利用 DSM 数据对建筑物轮廓采用表面法向量统计分析来与模型库中的屋顶类型实现匹配^[5]。总之,对陆地拍摄图像中建筑物屋顶类型的判断并不多见,进行自动分类的研究也很少。

基于城市建筑物世界的假设,针对数码相机拍摄的两大类建筑物,提出一种新的基于图像的自动实现建筑物平顶、非平顶判定的算法。该方法利用形态筛处理,首先将图像中小的区域融合,从而保留建筑物的主要轮廓区域;然后从图像的点、线特征入手,利用一种改进的 Hough 变换提取轮廓线,并提出了一种线段优化算法,这种优化贯穿于算法整个流程,可有效排除 Hough 变换和线段整合过程中产生的错误线段,并用于剔除错误的轮廓线交点和建立角点邻接图;最后,根据提取的各类角点的数目进行建筑物类型的判断。该算法实现简单,提出的线段排错算法有效提高了轮廓线提取的准确性,通过对近几十幅建筑物图像进行实验,类型判断的准确率在 80% 以上。

1 建筑物类型判断策略

1.1 城市建筑物世界场景约束

本文中假设图像包含独立的建筑物,并且相机在近似水平平面内拍摄,对大量非刻意拍摄的图像统计证明这一假设是合理的,此时拍摄的图像中建筑物主体至少有两个平面可见。由于图像的质量受环境的影响较大,一般意义上而言,来自建筑物顶部的遮挡等复杂因素较少,因此,从区分图像中建筑物的屋顶类型出发,判断建筑物是否为平顶建筑物。

1.2 建筑物角点特征分析

根据两类基本建筑物的屋顶或屋檐处的三线角点和角点的数目区分平顶和非平顶建筑物,如图 1 所示,有两条以上轮廓线构成的交点统称为“角点”;其中,圈出的为 3 条以上轮廓线的交点,称为“三线角点”;可以看出,在近似水平拍摄的建筑物图像中,由图 1(b)(c)的顶部可见,三线角点的数目比平顶建筑物顶部可见三线角点数目多,且平顶建筑物顶部在图像中可见角点数目总体很少,在完全提取准确的情况下,最多可见角点的数目为 3 个

角点,三线角点的数目也仅有一个;而非平顶建筑物顶部的角点数目均为 4 个以上,且三线角点的数目也有 3 个以上。实际拍摄的图像受设备、光线、天气、遮挡等因素的影响,质量情况各不相同,而且在算法执行过程中,角点数目的统计也会受到轮廓特征提取准确程度的影响,因此对建筑物轮廓提取的各种角点的数目进行统计,若三线角点的数目大于 2 或三线角点数目大于或等于 1 且角点数目大于或等于 3,则判断该建筑物为非平顶建筑物,否则为平顶建筑物。

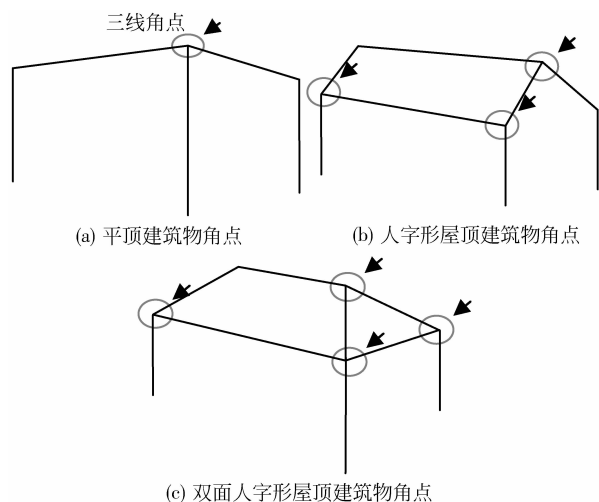


图 1 3 类典型建筑物顶部角点示意图

Fig. 1 Roof corners of typical buildings

2 建筑物角点检测

大部分角点检测算法都是直接对灰度图像进行操作,包括基于方向导数的方法^[6-8]和直接基于图像亮度的对比关系,如 SUSAN 算法^[9]和基于数学形态学的方法^[10]。这些算法检测到的角点只是代表了图像中曲率足够高的点,而本文需要统计通过角点边缘线的数目来确定角点类型,以上的角点检测算法在此并不适用,因此,选择提取建筑物主要的轮廓线并求交点的方法检测可能存在的角点和确定角点的类型。

2.1 灰度形态尺度空间

图像中往往包含很多复杂的信息,而建筑物的内部也有很多细节,为了能够有效获得建筑物的轮廓线来计算角点的数目,我们希望能够去除背景中和建筑物内部小区域对提取轮廓线的影响。区域操

作算子具有根据局部明显区域与周边环境的相关性实现将细节逐步融入大的背景中的能力,可有效消除包括噪声在内的复杂细节的影响^[11],生成与图像中目标相对应的区域^[12]。

定义 1 设 M 为 2 维空间 IR^2 的子集。灰度图像 I 为 M - IR 的映射, λ 为尺度空间大小, 设 $x \subset M$, 为灰度图像 I 中的像素, 包含像素 x 的连通集合 X 为 $C_x(X)$, 则有

$$r_\lambda^a(X) = \{x \in X \mid Area(C_x(X)) \geq \lambda\} \quad (1)$$

式中, $Area(X)$ 为该连通区域所包含的像素数, $r_\lambda^a(X)$ 即为图像中所有面积大于 λ 的连通集合 X_i 的合并, 灰度图像区域形态开操作对极大值区域进行处理, 定义为

$$r_\lambda^a(I)(x) = \sup\{h \leq I(x) \mid x \in r_\lambda^a(T_h(I))\} \quad (2)$$

式中, $T_h(I) = \{x \in M \mid I(x) \geq h\}$ 。

灰度图像区域形态闭操作对极小值区域进行处理, 定义为

$$\Phi_\lambda^a(I)(x) = \inf\{h \geq I(x) \mid x \in \Phi_\lambda^a(T_h(I))\} \quad (3)$$

灰度区域形态开-闭筛 (AOCS) 由逐渐增加尺度的连续区域形态开、闭操作构成, 因此对灰度图像 I , 尺度为 i 的灰度区域形态开-闭筛定义为

$$AOCS_i(I) = \Phi_i^a r_i^a(\Phi_{i-1}^a r_{i-1}^a(\dots(\Phi_1^a r_1^a(I)))) \quad (4)$$

式中, r_i^a 和 Φ_i^a 分别是尺度为 i 的区域形态开操作和区域形态闭操作, 上式也称为 M 筛^[13], 极大值区域和极小值区域逐渐融合到与其灰度值最接近的邻域中的过程形成了树状层次结构。

采用这种处理极大值和极小值区域的方式保证了强因果性, 即随着尺度的增加没有新的极值区域产生。从算法的角度, 灰度形态筛 (MS) 的主要步骤为: 1) 识别所有的极值区域, 计算各个区域的面积大小; 2) 将尺度为 1 的极值区域与邻域中与其最接近的像素或区域融合; 3) 不断增加尺度重复执行步骤 2) 直到图像中只剩下一个区域。形成不同尺度对应的各层次图像。

图 2 为灰度形态筛效果图, 图 (a) 中建筑物窗口内部的小区域和外部的遮挡等表现为或亮或暗的区域, 与建筑物主要灰度值差别较大。由图 (b) 可见, 小尺度形态筛可以去除小的波动。随尺度的增加, 形态筛操作将局部极值区域逐渐融入周围, 保留了建筑物的轮廓不受影响, 经过处理后的图像区域,

多对应图像背景和建筑物等主要区域。如图 (c) 所示, 为建筑物轮廓的提取提供了有利条件。为有利于建筑物类型的确定, 灰度形态筛的尺度设为相对于图像大小的 20%。

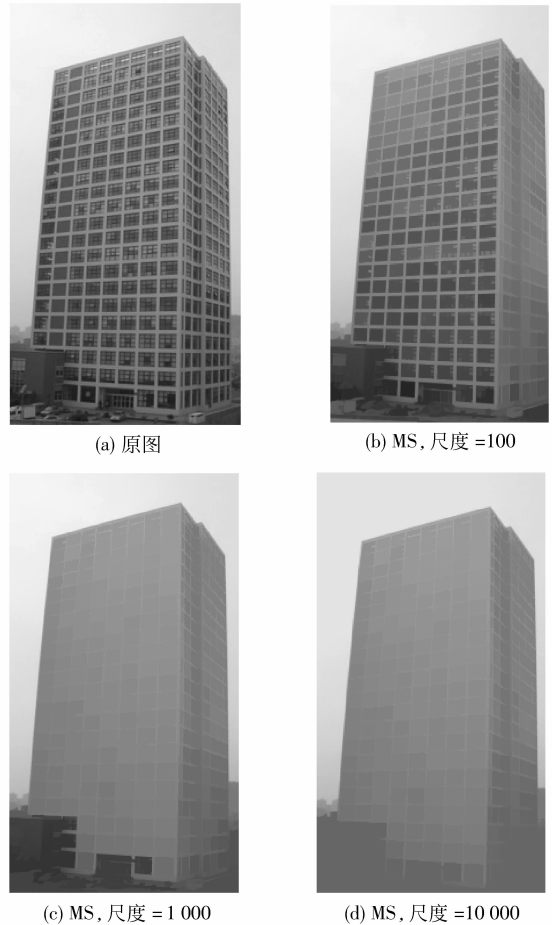


图 2 随尺度增加形态筛简化图像效果

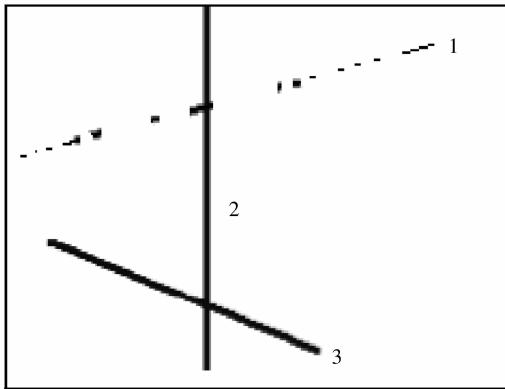
Fig. 2 Morphological sieves results

2.2 轮廓线段的优化提取

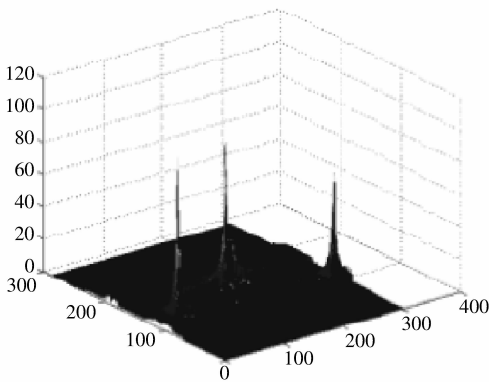
对经过形态筛处理和边缘提取后的图像, 利用 Hough 变换提取图像中的直线段。建筑物对应的外轮廓线一般较长且对应像素的梯度值较大, 因此, 按照离散计数空间中的计数值大小保留 30 条 Hough 变换检测到的直线, 并根据线段间的距离将线段进行连接, 保留一定阈值长度以上的线段。

真正的线段应对应二值边缘图像中的密集点, 如图 3(a) 中 2、3 线段, 其线段上点的数目与线段的长度差别不大, 而类似图 3(a) 中线段 1 虽然长度比较长, 但与线段上的二值边缘像素点的数目相比, 差别较大。从视觉角度上看, 图中的直线段 1 很难确定是否是真实的直线段, 可能是在图像预处理后由

于纹理、噪声等造成的干扰,不能反映真实的几何特征,称为“伪线段”。特别是在线段合并的过程中,错误的合并后“伪线段”其显著的特点是线段在二值图像中的点较稀疏。伪线段的产生会对建筑物轮廓线提取造成干扰,影响直线检测的效果,增加后续角点处理的难度。因此,对合并的每条线段进行排错处理,步骤为:1)统计每条线段上二值图像边缘点的数目,由于图像中欧氏距离的单位长度和显示器分辨率的单位不统一,这里统计在二值边缘图像中与该线段距离小于3的点的数目,记为 Dot_N ;2)计算该线段的长度 $Length$;3)若 $|Dot_N - Length| > thred_1$,则假设该线段为伪线段;4)若被假设为伪线段的长度大于 $Lengthred$,且 $|Dot_N - Length| < thred_2$,则假设不成立,该条线段应保留。优化流程如图4所示。在以上优化处理步骤中,加入了对较长线段的双重判断机制,以免造成重要线段的丢失。经过以上处理,很好的去除了伪线段,为下一步交点的提取奠定了基础。



(a) 图像空间中的3条直线段



(b) 直线在 Hough 空间中的表示

图 3 Hough 变换效果图

Fig. 3 Hough transform

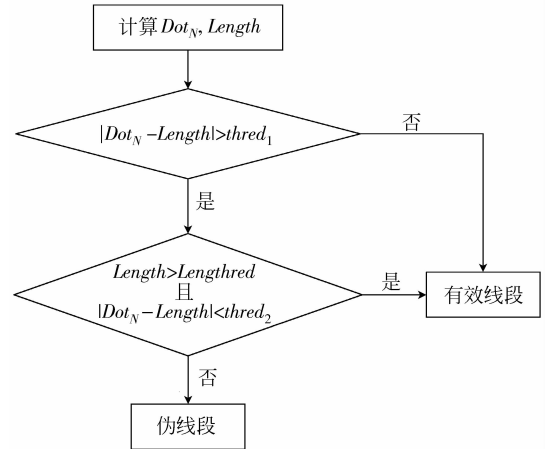


图 4 线段优化流程

Fig. 4 Segment optimization process

2.3 交点优化选择

对优化过的轮廓线,将斜率值不相近的线段两两求交点,这些交点可能是真正的屋顶角点,也有可能是错误的交点。在去掉超出区域范围的交点后,再次使用与优化线段类似的方法来判断各个交点的有效性:分别选择两个相交线段中离交点距离最近的两个端点,判断两个端点与交点之间的连线是否都是有效线段,若其中有一条线段按照 2.2 节的策略被判断为伪线段,则认为该交点不是有效角点,需舍弃。

按照此原则甄选所有的交点,并在求交点的过程中记录有效角点和通过角点的两条线段,然后在一定范围内重合的角点求平均。

3 建筑物类型判断

3.1 建立角点邻接图

根据角点之间是否存在对应的屋顶边缘来建立角点的邻接图,图 $G = (V, E)$, V 为顶点集合, E 为边集合。图中每个顶点代表检测到的角点,若图中两个顶点之间满足以下两个条件之一,则两个顶点之间存在一条边:1)两个角点的构成线段记录中有相同线段;2)两个角点的记录中没有相同线段,但根据 2.2 节的线段优化判断,在边缘图像中这两个角点之间存在轮廓线的假设成立。这种情况减少了由没有检测到的轮廓线而造成的误差,对应这两个角点通过边缘线段的数目应加 1。

3.2 算法流程图

综上所述,城市建筑物类型判断流程如图 5 所示。

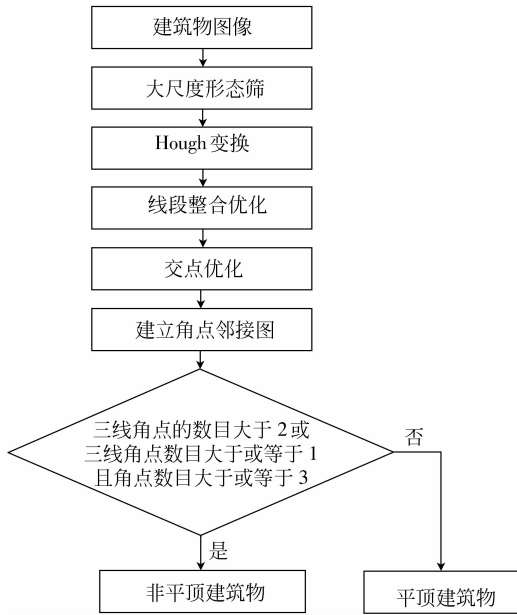


图 5 建筑物类型判断流程图

Fig. 5 The flowchart of the building classification algorithm

4 实验

本文以数码相机在不同角度,不同季节,不同光照条件下拍摄的几十幅建筑物图像进行实验来验证算法的有效性。实验用建筑物图像均为佳能 A610 拍摄的分辨率大小为 640×480 的彩色建筑物图像。实验中,线段排错的两级阈值分别为 $thred_1 = 30$, $thred_2 = 40$,伪线段长度阈值 $Lengthred = 200$ 。建筑物类型的判断结果与主观判断相比较,其准确率大于 80%。由实验结果可见,通过检测角点,确定各类角点的数目,我们提出的算法可自动实现对单幅建筑物图像中的简单建筑物类型进行判断,结果比较准确,其中对非平顶建筑物图像,见图 6 最后一行第 3 幅图像,在判断出是非平顶建筑物后,根据确定的角点区域邻接图可基本确定屋顶的轮廓。

为了说明本文提出的线段优化算法的有效性,

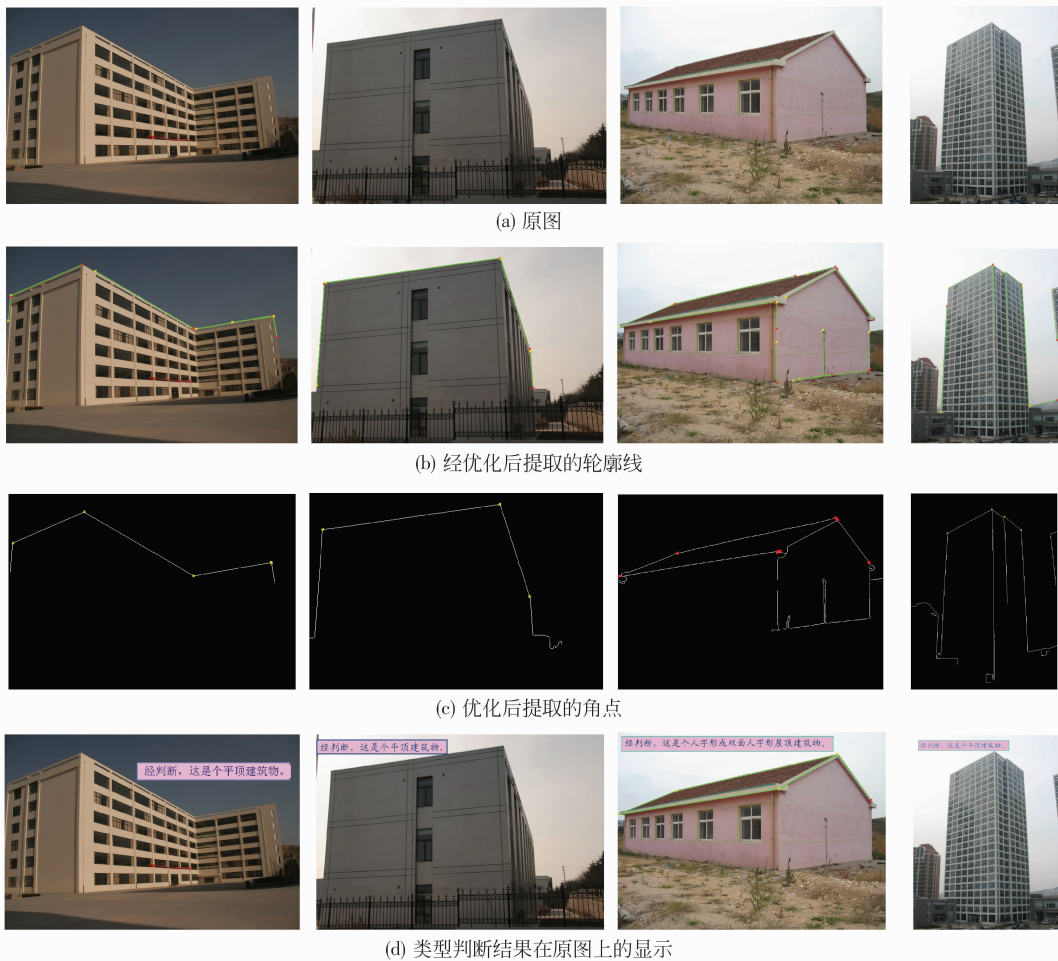


图 6 成功的建筑物类型判断

Fig. 6 The successful classification results of several buildings

给出了优化前和优化后线段检测的结果,如图 7 所示。从图 7(b)(e)可以看出,经 Hough 变换和线段合并后的结果中,有些线段并不对应着图像中真实存在的边缘线,也就是我们所说的“伪线段”,如图

中箭头所示,经本文提出的线段优化算法处理后,这些“伪线段”基本被排除,见图 7(c)(f),为角点的正确检测及类型的确定提供保证。

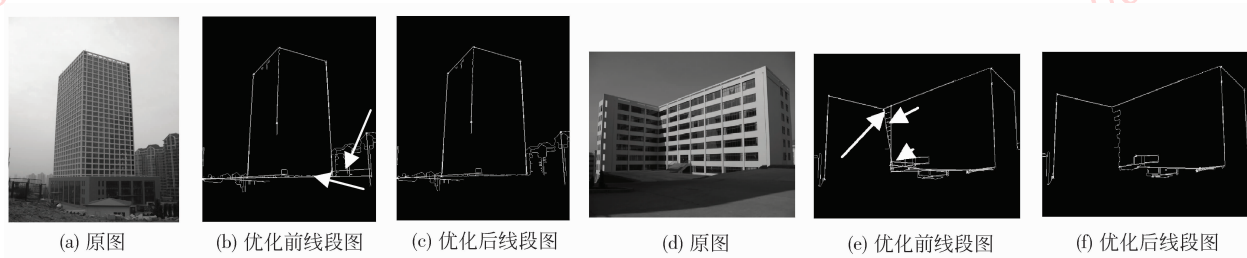


图 7 线段优化实验

Fig. 7 Lines optimization tests

图 8 为由本文提出的算法检测失败的两幅建筑物图像,如图(a)所示的图像由于受到光照的影响,图像中建筑物另一个平面的对比度不高,采用边缘检测算子无法从图像中检测到对应的边缘,如图(b)所示,从而影响了判断结果。这也再一次证明了,Hough 变换检测直线的结果受边缘检测的直

接影响。图(c)所示的建筑物图像,其主体有一条明显的阴影造成的高梯度边缘,同样,使判断的结果受到边缘检测和直线提取错误的影响。因此,尽量提高拍摄图像的质量,或适当的对建筑物图像进行去除阴影等预处理可提高算法的准确性。

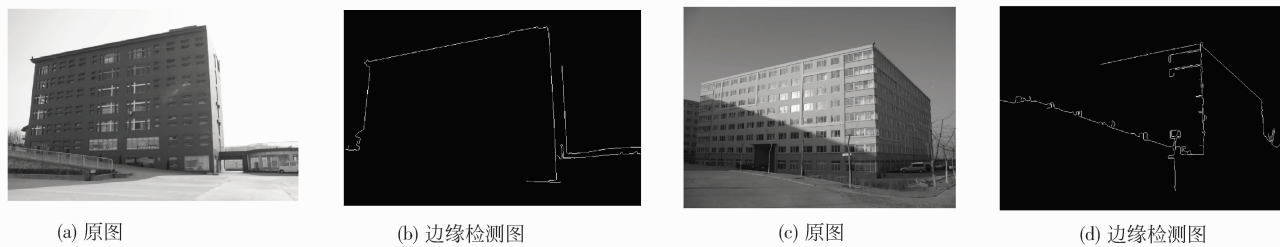


图 8 算法检测失败图像

Fig. 8 Failed images

5 结 论

提出一种基于单幅陆地近景拍摄图像的城市建筑物类型自动判定算法。该算法利用形态筛进行图像预处理,改进 Hough 变换进行轮廓线检测,并提出一种线段优化算法对检测到的轮廓线和线段交点进行整合和优化,建立角点邻接图,通过对三线角点和角点数目的统计,最终确定图像中包含的建筑物是平顶或非平顶建筑物。实验结果表明,该算法有效实现了自动的简单建筑物类型判定。实验中,角点检测的过程中存在漏检或误检的可能性,但不影响最终屋顶类型的确定。各个阈值的确定与图像的

大小和建筑物所占图像的比例及图像的拍摄质量有关,本文通过研究城市中典型建筑物图像的特点经实验设定。另外,城市中的现代建筑物样式繁多,本文仅对具有典型性两大类建筑物进行了实验,对于其他类型和较复杂的城市建筑物可根据需要结合摄影测量来进一步区分。

参考文献 (References)

- [1] Zhou Xin, Gu Jingjun, Chen Gang, et al. City building images identify and classification [J]. Application Research of Computers, 2003, (5): 35-37. [周欣,顾静军,陈刚,等. 城市建筑风景照片的自动识别和分类 [J]. 计算机应用研究, 2003, (5): 35-37.]

- [2] Feng Wei. Research on Key Technologies for Scene Classification [D]. Master Dissertation, Beijing Jiaotong University, 2008. [冯炜. 图像场景分类的关键技术研究[D]. 北京交通大学硕士学位论文, 2008.]
- [3] Zhang Zuxun, Zhang Jianqing, Hu Xiangyun. Semiautomatic building extraction by least squares matching based on geometrical constraints in object space [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2001, 26(4): 290-295. [张祖勋, 张剑清, 胡翔云. 基于物方空间几何约束最小二乘匹配的建筑物半自动提取方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2001, 26(4): 290-295.]
- [4] Wang Ronggui, Zhang Yousheng, Gao Jun, et al. An aerial image understanding model based on Bayesian networks [J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2004, 34(6): 745-756. [汪荣贵, 张佑生, 高隽, 等. 基于 Bayes 网络的航空图像理解模型 [J]. 中国科学技术大学学报, 2004, 34(6): 745-756.]
- [5] Yan Ping, Jiang Wanshou. Reconstruction of buildings with multi right angles and multilayers from DSM [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2006, 31(6): 492-495. [阎平, 江万寿. DSM 数据中多层次、多直角房屋的 3 维重建 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2006, 31(6): 492-495.]
- [6] Mehrotra R, Nichani S. Corner detection [J]. Pattern Recognition, 1990, 23(11): 1223-1233.
- [7] Wang H, Brady M. Realtime corner detection algorithm for motion estimation [J]. Image and Vision Computing, 1995, 13(9): 695-703.
- [8] Sheu H T, Hu W C. A rotationally invariant two phase scheme for corner detection [J]. Pattern Recognition, 1996, 29(5): 819-828.
- [9] Smith S M, Brady J M. SUSAN—a new approach to low level image processing [J]. Intl. J. of Computer Vision, 1997, 23(1): 45-78.
- [10] Laganieri R. A morphological operator for corner detection [J]. Pattern Recognition, 1998, 31(11): 1643-1652.
- [11] Young N, Evans A N. Psycho visually tuned attribute operators for pre-processing digital video [J]. IEEE Proc. Vision, Image and Signal Processing, 2003, 150(4): 277-286.
- [12] Gatica-Perez D, Gu C, Sun M T, et al. Extensive partition operators, gray-level connected operators, and region merging/classification segmentation algorithms: theoretical links [J]. IEEE Transation. Image Processing, September, 2001, 10(9): 1332-1345.
- [13] Bangham J A, Harvey R, Ling P D, et al. Morphological scalespace preserving transforms in many dimensions [J]. Journal of Electronic Imaging, 1996, 5(3): 283-299.