

基于最小外接矩形的直角多边形拟合算法

柳娜¹ 孙晓亮² 谭毅华¹

(华中科技大学多谱信息处理技术国家级重点实验室 武汉 430074)¹

(交通运输部公路科学研究院 北京 100088)²

摘要 提取房屋的边缘轮廓时,区域分割的不准确通常会导致提取出的轮廓出现内凹或外凸的不规整情况,需要进一步拟合。角点检测在轮廓的边缘形状提取中具有重要作用。传统的基于边界链码的角点检测是通过计算曲线的最大曲率点方式进行的。该方法求出的角点完全依赖于轮廓的曲率变化趋势,不对轮廓自身的凹凸具有修复性,因而无法排除因区域分割不准确带来的干扰角点,导致最终提取出的多边形不准确。针对此情况,提出一种基于最小外接矩形的直角多边形拟合算法。该算法利用最小外接矩形作为轮廓外界,计算待拟合轮廓与矩形外界之间的差值,并对差值设置适当阈值取舍角点,从而拟合出多边形的直角。所提方法无需通过轮廓曲率来计算角点即可得到紧紧包络目标轮廓的直角多边形,简单高效。

关键词 坐标系转化,角点,内外链作差,多边形拟合

中图法分类号 TP391.41

文献标识码 A

DOI 10.11896/j.issn.1002-137X.2017.06.052

Polygon Fitting Algorithm Based on Minimum Bounding Rectangle

LIU Na¹ SUN Xiao-liang² TAN Yi-hua¹

(National Key Laboratory of Science and Technology on Multispectral Information Processing,

Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)¹

(Research Institute of Highway Ministry of Transport, Beijing 100088, China)²

Abstract In the extraction of the edge of the housing, usually due to the segmentation of the region is not accurate, resulting in the extraction of the outline appear irregularities such as concave or convex parts, which needs to further fitting. Corner detection plays an important role in contour shape extraction. The traditional corner detection is based on the calculation of the maximum curvature point. This calculation method is completely dependent on the curvature variation of the profile, and can not be used for the repair of its irregularities. So it's difficult in removing some of useless corner points. In this paper, a new method based on the minimum external rectangle to fit its real shape was proposed. In detail, the minimum external rectangle is used as the outline, and the difference between the fitted contour and the outer rectangle is calculated. It sets the appropriate threshold value for the difference, then chooses the right point for the polygon according the threshold. Without needing to calculate the corner points by the curvature of the contour, we can get the right-angled polygon of the object contour, which is simple and efficient.

Keywords Transformation of coordinate system, Corner point, Difference between inner and outer contour, Polygon fitting

1 引言

在图像分析和计算机视觉领域,通常需要从图像中识别目标,并且通过其轮廓分析对目标进行描述。对于比较规整的目标,如遥感图像中的建筑物可用直角多边形对目标对象的轮廓进行拟合。然而,通常通过分割方式形成的二值目标的轮廓并非如理想中的规整,给多边形拟合带来了困难。如图1(a)所示,分辨率约为0.5m的航空影像,经目标提取算法可得到如图1(b)所示的二值化图像。尽管建筑物可用多边形表达,但从图中可看出,提取的建筑物边缘有部分丢失的凹

陷和多余的凸起,需要有相应的算法对其进行进一步拟合优化。



(a) 原始遥感图像



(b) 分割的建筑物目标区域

图1 遥感图像建筑物分割描述示例

到稿日期:2016-05-04 返修日期:2016-08-22

柳娜(1991—),女,硕士生,主要研究方向为模式识别与智能系统、目标检测与识别,E-mail:liunaa666@163.com;孙晓亮(1985—),男,助理研究员,主要研究方向为智能交通,E-mail:sxl@itsc.cn;谭毅华(1975—),男,副教授,主要研究方向为智能视觉监控、目标检测与识别等,E-mail:yhtan@hust.edu.cn.

目前对图像中的多边形目标进行拟合提取时,通常采用角点定位法。即在原有的轮廓基础上,通过采用各种方式,从轮廓所有的点中进行角点的筛选,以定位多边形拐点,形成目标图形形状。凸包法以及基于曲率的角点检测方法都是基于原始边缘链码的角点择优方式找出关键点。如曲率统计角点检测法^[3]将角点检测映射到 28 维的多尺度空间上进行多角度对比,排除干扰角点。在基于多边形凹凸点检测的远距离手势识别中^[6],针对手型形状及手指个数,利用凹凸点之间的夹角进行角点的选择。He X C 等人提出了一种基于多尺度角点探测器^[4],它是在 CSS 算法^[5]的基础上进行的改进。为了更精确地找出合适的角点,采用自适应局部曲率阈值代替单一的全局阈值,提出了圆角与钝角区分的准则。文献[7]针对红外图像的轮廓进行了图像的多边形拟合,剔除了冗余点和噪声点。文献[8]通过定义弦高度来判断像素点对边界曲线形状的贡献,将贡献值小的点删除。文献[4]利用多角点探测器进行拟合。虽然这些角点选取的算法都很好忠于原有边缘形状,对于边缘轮廓的检测十分适用,但是却无法提升需要进行再次拟合的边缘的效果。对于建筑物提取等问题,其矩形角点的角度都是 90°。若采用近似的函数代替轮廓点集进行拟合,对边数不定的多边形而言,由于拟合直线的倾角偏差,很难将拟合的相邻线段组合成夹角都是 90°的封闭形状。例如拟合线段组合出的矩形可能变形为平行四边形或者梯形等,效果不理想。根据这一特点,本文提出基于最小外接矩形的多边形拟合算法,其整体思路是:首先将整个待拟合轮廓用一定角度的最小外接矩形围住,当待拟合图形的轮廓不是矩形时,被围轮廓与矩形之间必有差值块,去除差值大的块,即可得到贴近原多边形的凹凸形状。利用该方法进行优化有两个优点:1)拟合效果好,拟合形状最贴近原始形状矩形组合,可以确保每一个角点的角度都是 90°;2)算法简单高效,由于只进行简单的作差运算,无需计算各点的曲率值,运算速度快,可以大大提升计算的效率。

2 多边形拟合算法

本节详细介绍多边形拟合的步骤,主要分为 3 步:1)提取目标边缘轮廓及求轮廓的最小外接矩形;2)按照最小外接矩形建立局部坐标系;3)目标边缘轮廓链的划分与计算。在步骤 3)根据图形位置,需要将整个轮廓链分成上下链或左右链,并分别与矩形的上下边或左右边作差值计算,细节描述见 2.3 节。

2.1 提取目标边缘轮廓及最小外接矩形

经图像分割后,目标的边缘链 C 可由顺序相连的一系列坐标点的集合来表示闭合曲线^[2]。设 $C = \{(x_0, y_0), (x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)\}$, 是以 (x_0, y_0) 为起点,按照轮廓的走向逆时针环绕一圈得到的坐标点形式表示。同时,为了减少轮廓顶点上的数目,初步拟合轮廓,去除冗余点,对轮廓进行预处理,内轮廓预处理后的效果如 2.4 节中图 5(c)所示。

最小外接矩形一般是轮廓区域范围内 $X_{\min}, X_{\max}, Y_{\min}, Y_{\max}$ 包围的矩形区域。针对房屋建筑矩形与一般外接矩形的不

同点,房屋作为实际场景在图片上具有方向性,在提取外接矩形时,要控制最小外接矩形的旋转角度与房屋轴向一致,这样才能保证本文算法实现的准确性。

2.2 外接矩形局部坐标系建立

在一幅图像的坐标系中,通常将左上角坐标作为原点(0, 0),水平向右和垂直向下的方向分别为 x 轴和 y 轴的正方向,称为 XY 坐标系。现以最小外接矩形的一个顶点为坐标原点,两条垂直邻边为坐标轴建立新坐标系,称为 AB 坐标系。两个坐标系平移和旋转的变化关系^[1]如图 2 所示。

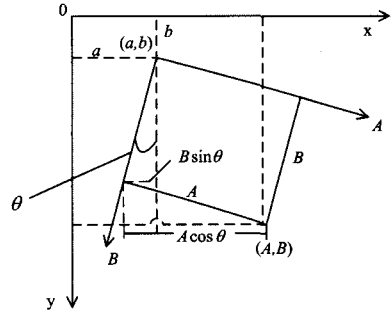


图 2 坐标系转换示意图

如图 2 所示,在 AB 坐标系内的(A,B)点在 XY 坐标系内设为(X,Y)点,坐标的转换关系式如下:

$$\begin{cases} X = A \cos \theta - B \sin \theta + a \\ Y = A \sin \theta + B \cos \theta + b \end{cases} \quad (1)$$

其逆转换的公式为:

$$\begin{cases} A = (X - a) \cos \theta + (Y - b) \sin \theta \\ B = -(X - a) \sin \theta + (Y - b) \cos \theta \end{cases} \quad (2)$$

首先,求出矩形在 XY 坐标系的 4 个顶点值。记矩形的右上、左上、左下、右下顶点分别为: A_1, A_2, A_3, A_4 , 选择其中一个合适的点如 $A_1 = (a, b)$ 作为新坐标系的原点,按照式(2)转换到 AB 系内,转换后 $A_1 = (0, 0), A_2 = (0, N), A_3 = (M, N), A_4 = (M, 0)$ (注: M, N 分别代表由 XY 坐标系中 A_2 的 y 值、 A_4 的 x 值转化到 AB 坐标系中得到的常数值)。然后,按照式(2)将 C 链在 XY 坐标系的所有点转化到 AB 坐标系内,在 AB 坐标系内进行作差以及比较运算。

2.3 目标边缘轮廓链的划分与角点计算

2.3.1 区分上下链或左右链

最小外接矩形的求法决定了边缘轮廓点与矩形的 4 条边各至少有一个交点。为了量化目标边缘轮廓链在矩形内的凹陷值,将目标边缘轮廓链划分为上下链或左右链后作差计算。如图 3 所示,与最小外接矩形上边界相交的链 AEB 为上链,与最小外接矩形下边界相交的链 BFA 为下链。计算时,目标轮廓链的链首出现的位置很重要,当链首坐标出现在位置 E 以及 E 以左位置时,如果还按照上下链划分整个目标轮廓链,按逆时针方向,则上链被 E 点切断,E 右侧的 AE 段被丢掉,此时需要按照左右链的方式计算。图 3 中链 EBF 为左链,链 FAE 为右链。因此,对于整体算法实现需要判断链首坐标的 x 值,以决定整个计算方式是按照上下链方式还是左右链方式进行划分。

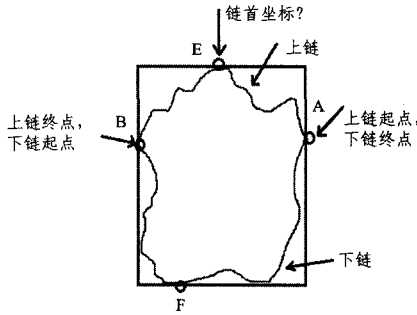


图3 划分链的示意图

2.3.2 最小外接矩形与目标轮廓的各分链对应作差

上链差值:对于上链的每一个点,用矩形的上边界 y 坐标与目标链的 y 值作差,即

$$\Delta up(i) = N - C(i).y$$

下链差值:对于下链的每一个点,目标链各点的 y 值就是对应的凹陷差值,即

$$\Delta down(i) = C(i).y$$

左链差值:对于左链的每一个点,目标链各点的 x 值就是对应的凹陷差值,即

$$\Delta left(i) = C(i).x$$

右链差值:对于右链的每一个点,用矩形的右边界 x 坐标与目标链的 x 值作差,即

$$\Delta right(i) = M - C(i).x$$

2.3.3 设定阈值,计算角点

以上下链的计算方法为例,介绍本文的角点寻找法。首先申请一个 16 个点的空间数组,并初始化为 $(0,0)$ 。设定阈值,在观测范围内上(或下)链的差值大于阈值即为凹陷。

先假设上链中有且仅有 1 处凹陷。设上链凹陷的起点终点下标分别为 $k1, k2$,初始化 $k1 = k2 = 0$ 。首先,上链差值依次与阈值 t 进行比较,大于阈值 t 的起点下标赋值给 $k1$,大于阈值 t 的终点下标赋值给 $k2$ 。再次进行宽度阈值比较,若 $|k2 - k1|$ 大于阈值 $t1$,则证明有凹陷,否则无凹陷。分别记为 {上不凹} 和 {上凹}。其中,上凹又可分为 {上右凹,上中间凹,上左凹},当 $k1, k2$ 符合凹陷条件时,需要判断凹陷位置是在左、中还是右。以矩形的右上方作为链初始位置,方法如下:

(1) 如果上链初始位置差值大于阈值 t ,且沿 x 向左至宽度为 $t1$ 位置处的差值都大于阈值 t ,说明右上角凹陷,则为上右凹。

(2) 如果上链终止位置差值大于阈值 t ,且沿 x 向右至宽度为 $t1$ 位置处的差值都大于阈值 t ,说明左上角凹陷,则为上左凹。

(3) 否则,为上中间凹。注:利用的是夹击判断法,因为已经判断出必有一处凹陷。

然后进行角点标号。右上角标为顶点 1,依次逆时针向下标号,下链顺延。由图 4 可知,若是上左凹或上右凹,说明上链已存储了 4 个不为 $(0,0)$ 的坐标点,若是上中间凹,则说明上链存储了 6 个不为 $(0,0)$ 的点。此时只需判断第 6 个点的值是否为 $(0,0)$ 即可将上链的情况分为两类:类 1:上左或上右凹;类 2:上中间凹),再加上判断条件:第 4 点是否为矩形的上左顶点值,即可将上链分为 3 类:类 1:上左凹;类 2:上

中间凹;类 3:上右凹)。若上链无凹陷,则记为 {类 4:上不凹}。

第1列	第2列	第3列	第4列

图4 检测形状示意图

转到下链,设下链凹陷的起终点下标分别为 $k3, k4$,初始化 $k3 = k4 = 0$ 。同理,首先将下链差值依次与阈值 t 进行比较。大于阈值 t 的起点下标赋值给 $k3$,大于阈值 t 的终点下标赋值给 $k4$ 。再次进行宽度阈值比较,若 $|k4 - k3|$ 大于阈值 $t1$,则证明有凹陷,否则无凹陷。再按照判断位置的 3 条法则判断出下左凹、下中间凹、下右凹。继续分类,分别在类 1、类 2、类 3、类 4 的基础上分出 {下不凹} 和 {下凹},其中下凹又分为: {下左凹,下中间凹,下右凹},因此共可检测出 $4 * 4 = 16$ 类多边形。

利用本文可以检测出 16 类多边形形状示意图如图 4 所示。实际上矩形可以在平面内成任意角度旋转。由图形形状可知,当遇到一个 L 形,增加 3 个角点;当遇到一个凹形,增加 4 个角点。仍然以上链的一个为例,若为上右凹,即为 L 型,增加的 3 个角点依次为:

$$point1.x = M, point1.y = C(k2).y$$

$$point2.x = C(k2).x, point2.y = C(k2).y$$

$$point3.x = C(k2).x, point3.y = N$$

若为上中间凹,即为凹型增加的 4 个角点依次为:

$$point1.x = C(k1).x, point1.y = N$$

$$point2.x = C(k1).x, point2.y = \max\{C(k1).y, C(k2).y\}$$

$$point3.x = C(k2).x, point3.y = \max\{C(k1).y, C(k2).y\}$$

$$point4.x = C(k2).x, point4.y = N$$

按照此方法,结合链的起终点坐标以及矩形的位置写出角点的数值。

最后,增加一个角点与第一个角点值相同,以确保图形的封闭性。再将数组中的角点值全部逆变化到 XY 坐标系中,依次连接角点形成多边形。

2.4 算法实现

按上述步骤编写代码,其分步实现效果如图 5 所示。通过拟合结果可以看出,得到了最贴近原始房屋图形且所有角度都是 90° 的拟合形状。



图 5 分步实现过程

3 算法整体描述

为了清晰地表达算法的流程,绘制执行流程如图 6 所示,给出了整体的分类过程。首先通过链首的位置来判断是按照左右链还是上下链的方式来计算。提供两种链划分方式的原因是:机器生成链的链首坐标位置具有随机性,首坐标一般出现在偏右上角或偏左上角位置。如果链首坐标出现在下方,则计算时需要重排链码顺序;若链首坐标出现在右上角位置,则按照上下链的方式计算,这样可以保证分出的链具有完整的上链和下链,不会有断链,计算更准确;若链首坐标出现在偏左上角位置,则按照左右链的方式计算,原理相同。

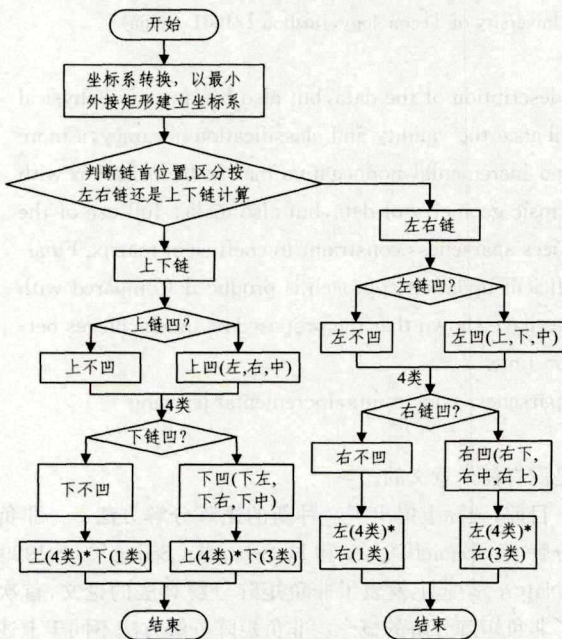


图 6 整体流程图

然后进行凹陷判断。以上下链方式计算为例,只需判断 k_1, k_2, k_3, k_4 的值是否满足凹陷条件。若满足 $|k_2 - k_1| > t_1$ (阈值), $|k_3 - k_4| > t_1$ (阈值), 即有凹陷, 否则没有凹陷。同时需要结合判断最小外接矩形的顶点是否存在, 来确定凹陷位置是在两侧还是中间。若以上下链分链方式计算, 则按照图 4 的标号顺序从右上角开始依次找出各个角点, 即可确定多边形的凹陷形状。若以左右链分链方式计算, 则从左上角开始按照逆时针依次标号找出各角点, 最终得到拟合形状。

当仅在矩形的每一边考虑一处凹陷时, 可检测出 16 种多边形的基本形状。实际情况可能会更加复杂。如: 矩形某边有 2 处及以上的凹陷、类似 E 形等, 此时需增加判断凹陷的起终点位置下标。以上链为例, 原有的判断凹陷下标定义为

k_1, k_2 , 继续增加变量 k_5, k_6 。判断是否有两处凹陷, 以增加新的检测形状。因此, 基于本算法的思路, 并根据实际情况增加凹陷判断, 可以适应更多的形状检测。

4 实验结果及对比

4.1 拟合效果对比

为了检验算法的准确性, 以原始航空影像的区域分割图片作为输入数据进行测试。按照上述算法步骤, 本文在 VS2010 上实现了多边形的提取。图 5 已经详细展示了算法运行过程中的分步效果。图 7 给出了 4 组本文算法的测试结果。图 7 的第一行为待拟合的区域形状, 第二行为本文算法得到的边缘提取结果, 第三行为原始的遥感图片。通过比较可以直观地看出, 在提取的区域形状存在误差的前提下, 得到的拟合多边形形状仍然与原始房屋形状具有很好的匹配度。为了更加直观地看出本文算法的效果, 选择了两种边缘形状检测算法来进行实验对比, 结果如图 8 所示。

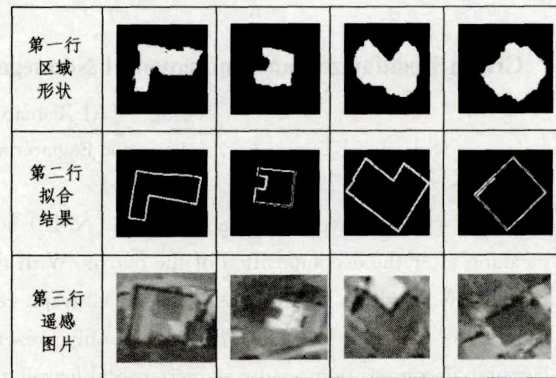


图 7 本文算法拟合效果

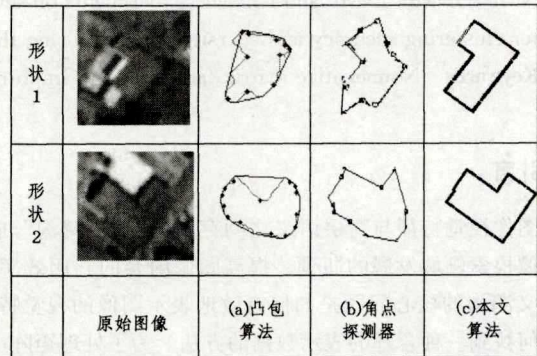


图 8 算法效果对比

凸包检测是图形检测的经典方法。首先提取边界所有的凹点和凸点, 如图 8(a) 所示, 连接所有的凸点, 即可得到包含所有点的整体区域。为了找到准确的图形形状, 必须在合适的位置插入合适的凹点。例如: 对手指形状的检测^[6], 利用手指个数以及凹凸点的夹角作为判断依据筛选出凹点。但是在直角多边形的检测中, 由于出现的凹陷位置不确定, 也没有像手型判断那么明显的特征, 因此很难筛选出合适的凹点, 故检测出的形状不准确。

He X C 等人提出了一种基于多尺度的角点探测器^[4]。在一定范围内给定一个角点的角度 θ , 可以在很大程度上排

(下转第 305 页)

- [13] BUCAK S S, GUNSEL B. Incremental subspace learning via non-negative matrix factorization [J]. Pattern Recognition, 2009, 42(5):788-797.
- [14] YU Z Z, LIU Y H, B Li, et al. Incremental Graph Regulated Nonnegative Matrix Factorization [J]. Journal of Applied Mathematics, 2014, 2014(1):1-10.
- [15] DING C, LI T, PENG W, et al. Orthogonal nonnegative matrix t-factorizations for clustering [C] // Proceedings of SIGKDD. 2006:126-135.
- [16] LOVASZ L, PLUMMER M. Matching Theory [M]. North Holland, 1986.
- [17] MICHAEL W, SHAKHINA A, STEWART G W. Computing sparse reduced-rank approximations to sparse matrices [J]. ACM Transactions on Mathematical Software, 2004, 19(3):231-235.
- [18] WANG W L, CAI J. An incremental learning algorithm for non-negative matrix factorization under sparse constraints [J]. Computer Science, 2014, 41(8):241-244. (in Chinese)
王万良, 蔡竞. 稀疏约束下非负矩阵分解的增量学习算法 [J]. 计算机科学, 2014, 41(8):241-244.

(上接第 297 页)

除干扰角点,其实验结果如图 8(b)所示。给定 $\theta=162^\circ$,检测到 12 个角点,并依次连线。与凸包算法相比,该算法可以检测到图形的关键点位置,得到图形的大致形状。但是其并没有起到拟合的效果,原有的边缘弯曲及缺失仍然存在。

从图 8(c)中可以看出,本文算法可以得到关键角点,大大弱化了边缘的弯曲度。在提取的原有边界的基础上,提升了拟合效果,使得最终形状恢复至原图效果。与前两种方法相比,本文方法成功地去除了边界的毛刺^[9],同时保证了多边形的每个角度都是 90° ,与原图保持一致。因此,本文方法是一种有效的拟合方式。

4.2 时间复杂度对比

通过上面 3 组算法的对比,可以直观地看出基于最小外接矩形的多边形拟合算法的效果提升。同时,由于算法的思路简单,使得计算具有高效性。本文无需计算轮廓点的曲率值,转化坐标系后直接进行简单作差比较,耗时很少。经测试,本算法利用 VS2010+OPENCV 平台,在 Intel Core i5-2320 CPU 上运行一幅图片平均耗时 8ms,如表 1 所列。类似地,测试凸包算法的运行耗时,大约为 16ms。针对求解曲率寻找角点的方法,得到一幅图的轮廓耗时需 1494ms。其中,有 1034ms 的耗时间用在计算边缘各点的曲率值上。由此可见,无需计算曲率大大提高了计算的效率。

表 1 运行耗时/ms

算法类型	本文算法	凸包检测	角点检测
耗时	8	16	1494

结束语 本文提出一种基于最小外接矩形的直角多边形拟合算法。针对直角角点的特征,利用了最小外接矩形作为轮廓的外界,并与轮廓作差值找到直角角点。根据矩形在平面内旋转,建立不同角度的笛卡尔坐标系,可以检测出平面内成任意角度的直角多边形形状,修复了原轮廓的局部凹凸性。所提方法拟合后的图形很好地贴近房屋的原始形状,且与传统的基于曲率的检测角点方法相比,具有计算上的高效性。通过测试不同的图片,其得到的准确性高。

参 考 文 献

- [1] MA C Q. Using coordinate system of translation and rotation to simplify the housing axis positioning [J]. Science and Technology Innovation Herald, 2012(24):59, 61. (in Chinese)
- [2] XU H. Research on key points detection of profile curve [D]. Nanjing: Southeast University, 2009. (in Chinese)
徐虹. 轮廓曲线的关键点检测研究 [D]. 南京:东南大学, 2009.
- [3] LI M, WANG J Z, LI L L, et al. Curvature statistics corner detection method [J]. Mind and Computation, 2009(3):209-214. (in Chinese)
李明, 王甲卓, 李玲玲, 等. 曲率统计角点检测方法 [J]. 心智与计算, 2009(3):209-214.
- [4] HE X C, YUNG N H. Curvature scale space corner detector with adaptive threshold and dynamic region of support [C] // Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition (ICPR 2004). 2004, 2:791-794.
- [5] MOKHTARIAN F, MOHANNAN F. Enhancing the curvature scale space corner Detector [C] // Proc. Scandinavian Conf. on Image Analysis. 2001:145-152.
- [6] HU X M, SHEN Z X, WANG S Y, et al. Remote gesture recognition based on polygon bump detection [J]. Information communication, 2015(9):57-58. (in Chinese)
胡学敏, 沈朝晓, 王司雨, 等. 基于多边形凹凸点检测的远距离手势识别 [J]. 信息通信, 2015(9):57-58.
- [7] LI Z H, JIANG G H, XU S N, et al. Infrared and visible image registration algorithm based on contour polygon fitting [J]. System Engineering and Electronic Technology, 2015, 37(12):2872-2878. (in Chinese)
李振华, 江耿红, 徐胜男, 等. 基于轮廓多边形拟合的红外与可见光图像配准算法 [J]. 系统工程与电子技术, 2015, 37(12):2872-2878.
- [8] SUN S Z, GU X C, YANG Y, et al. Research on contour extraction and polygon fitting of aircraft image [J]. Journal of Changchun University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2009, 32(3):447-449. (in Chinese)
孙爽滋, 谷欣超, 杨勇, 等. 飞机图像的轮廓提取与多边形拟合研究 [J]. 长春理工大学学报(自然科学版), 2009, 32(3):447-449.
- [9] WANG Y, HAO C Y, HAN P Y, et al. Polygonal Fitting Method to Image Contour Based on Mergence [C] // National Joint Conference on signal and Information Processing Technology and Information Processing. 2004. (in Chinese)
王毅, 郝重阳, 韩培友, 等. 基于聚合的图象轮廓线多边形拟合方法 [C] // 信号与信息处理技术信号与信息处理全国联合学术会议. 2004.