

一种基于图像灰度的红外目标识别算法

高 晶¹ 吴 昆¹ 吴育峰² 陈仲华²

(第二炮兵工程大学 西安 710025)¹ (96630 部队 北京 102206)²

摘 要 针对红外图像背景复杂、识别率不高的问题,提出了一种新的基于图像灰度的红外目标识别方法。首先在形态学理论的基础上设计了一种多级形态学目标检测算子,并结合区域生长法检测目标区域;其次在候选目标区域的基础上引入 sigmoid 函数进行区域筛选,缩小了下一步目标搜索范围,并利用 Haar 小波方法从区域纹理入手,综合考虑了目标区域及其周边 8 方向邻域的相似性关系,明确了图像目标识别中对红外实时图目标的提取;最后运用目标模板的先验知识进行目标识别。实验结果表明,该算法的目标识别率相对于模板匹配算法和 otsu 阈值检测算法得到了极大提高,对于复杂地面红外图像目标的匹配识别具有一定应用价值。

关键词 目标识别,多级形态学, sigmoid 函数, Haar 小波

中图分类号 TP391 **文献标识码** A

Infrared Target Recognition Algorithm Based on Image Grayscale

GAO Jing¹ WU Kun¹ WU Yu-feng² CHEN Zhong-hua²

(Second Artillery Engineering University, Xi'an 710025, China)¹ (96630 Army, Beijing 102206, China)²

Abstract A new infrared target recognition algorithm based on image grayscale was presented to solve the problems of complex background, the impact of similar goals on target identification and low recognition rate. Firstly, a multi-level morphological target detection operator was designed and combined with region growing method to detect the target region. Secondly, the introduction of sigmoid function was used to screen the candidate target region, narrowing the searching range, and the Haar wavelet method was used to consider the similarity relations surrounding the target region neighborhood of 8 directions starting from the region texture in order to confirm the target extraction in infrared-real-time target recognition. Finally, the detected results were precisely matched using the prior of target template knowledge. Experimental results show that the algorithm has a higher target detection recognition and get great improvement compared with template matching algorithm and otsu threshold detection algorithm. The new algorithm has a certain application value for infrared image target in complicated background.

Keywords Target identification, Multi-level morphology, Sigmoid function, Haar wavelet

在可见光/红外图像匹配武器系统中,基准图是可见光图像,实时图是红外图像,它们通常是在不同时间、不同观察角度和不同天气条件下获得的,因而图像存在较大差别。基于区域的图像匹配方法中,图像中的所有像素点全都参与运算,且图像之间的相似性度量主要包括各种互相关系数计算或者图像差值,这类算法在抗噪声干扰和抗几何形变方面效果较好,应用较广。

近年来在从图像各种背景杂波中检测含有目标的区域方面,已出现了很多种方法,如阈值分割法、边缘分割法、灰度直方图法^[1],但是在背景复杂且对比度低的情况下效果不理想;局部灰度熵^[2]方法在区域检测方面虽然具有较高的检测率,但是其运算量较大,不利于实际使用。数学形态学方法^[3]具有完美的数学基础,是一种非线性滤波方法,在计算机视觉、图像处理、图像分割、医学图像分析等领域得到了广泛的应用^[4]。

在图像去噪、识别及数据处理领域常常用到图像多尺度

分析理论和算法,人们比较熟悉的是小波变换^[5],它是一种有效的多尺度分析工具。小波变换对图像匹配一般分两步:第一步是低分辨率下的全局匹配;第二步是高分辨率下的局部匹配。其结果既减小了迭代时落入局部最优点的可能性,又提高了运算速度。在小波分解中 Haar 小波是最简单的一种方法,用 Haar 小波作图像分解后得到的水平分量和垂直分量,不仅保留了图像的几何特征,同时又大大减少了数据量^[6]。

针对以上问题及方法,本文利用数学形态学运算简单且易于实现的优点,设计了一种新的多级形态学检测算子,并运用目标基准图进行区域生长,在目标检测候选区域的基础上引入 Haar 小波方法,对候选区域作相应的小波分解,并构建了 8 方向的纹理分析图,利用分解后得到的 HL 和 LH 分量进行相似度分析,运用欧氏距离计算目标区域的相似性,最终完成目标识别。实验证明该方法对目标区域的检测率较高,有效解决了目标与背景对比度低、识别难的问题,对前视红外

到稿日期:2012-12-02 返修日期:2013-03-20 本文受国家自然科学基金项目(61003148)资助。

高 晶(1983-),女,博士生,主要研究方向为图像匹配与模式识别等,E-mail:myfairycrystal@163.com。

图像的目标识别具有一定的应用价值。

1 目标区域检测

1.1 数学形态学理论基础

数学形态学从集合理论发展而来,是一种非线性滤波方法,它的基本思想是按照预定目的构造一个或几个具有一定形状和尺寸的结构元素来度量 and 提取图像中与其对应的形状,去除不相干的结构,以达到图像分析和目标识别的目的^[7]。

形态学的基本运算包括腐蚀、膨胀、开运算、闭运算,设 $f(x,y)$ 为灰度图像, $b(s,t)$ 为结构元素,则形态学变换定义为^[8]:

(1) 膨胀

$$(f \oplus b)(x,y) = \max\{f(x-s,y-t) + b(s,t)\} \quad (1)$$

(2) 腐蚀

$$(f \ominus b)(x,y) = \min\{f(x+s,y+t) - b(s,t)\} \quad (2)$$

(3) 开运算

$$f \circ b = (f \ominus b) \oplus b \quad (3)$$

(4) 闭运算

$$f \cdot b = (f \oplus b) \ominus b \quad (4)$$

膨胀运算可以增强图像中亮部区域所含的能量,增大亮部区域面积,有利于目标物体较背景区域亮的目标区域的检测;而腐蚀运算则相反,会削弱图像中亮部区域的能量,减小亮部区域的面积,即腐蚀运算可以增强暗区域的能量,因此对于目标亮度低于背景的目标区域的检测有积极作用^[7]。

基本的形态学算子虽然具有操作简单、执行速度快的特点,但是在各种去噪、对比度不明显的情况下,效果不明显,并且在实际高速图像采集过程中,图像中目标与背景的亮度以及对对比度信息大多数情况下为不可知的。因此,本文以图像形态学运算为基础,设计了一种新的多级形态学处理的算子用于检测目标区域。步骤如图 1 所示。

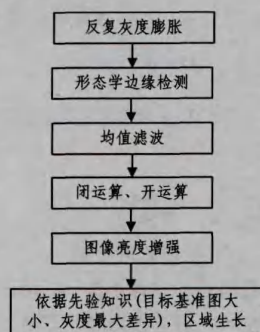


图 1 流程图

1.2 多级形态学目标区域检测算子

在灰度图像中,膨胀和腐蚀操作是以像素邻域的最大值和最小值来定义的,常常被用于计算图像的形态学梯度,该梯度代表了图像的灰度变化。形态学梯度与以往运用空间滤波器计算梯度有所不同,其利用对称结构元素,在边缘方向性上依赖较少。为克服前视红外图像中目标体积小且与背景对比度较低的困难,利用形态学中的膨胀操作,结构元素采用 3×3 的平坦结构。设 $F(x,y)$ 为红外图像, $g(x,y)$ 为结构元素,

$F_1(x,y)$ 定义为:

$$F_1(x,y) = (F \oplus g)(s,t) = \max\{F(s-t,t-y) + g(x,y) | (s-x), (t-y) \in D_F; (x,y) \in D_g\} \quad (5)$$

式中, D_F 和 D_g 分别为 $F(x,y)$ 和 $g(x,y)$ 的定义域。

以往形态学边缘检测算子为一种非线性差分算子,但是检测后仍有噪声存在,其中膨胀型为^[9]: $E(F) = (F \oplus g) - F$, $E(F)$ 为图像边缘。因此以膨胀型边缘检测为基础,在 $F_1(x,y)$ 图像处理的基础上,再次采用 3×3 平坦的结构元素来进行膨胀操作,进一步增强图像中亮部区域所含的能量,检测出图像的边缘,则 $F_2(x,y)$ 定义为:

$$F_2(x,y) = (F_1 \oplus g)(s,t) = \max\{F_1(s-t,t-y) + g(x,y) | (s-x), (t-y) \in D_{F_1}; (x,y) \in D_g\} \quad (6)$$

式中, D_{F_1} 为 $F_1(x,y)$ 的定义域。

根据膨胀结果,可将边缘图像 $F_3(x,y)$ 定义为: $F_3(x,y) = F_2(x,y) - F_1(x,y)$, 结果如图 3 所示。



图 2 原始图像



图 3 边缘图像

图 3 中的边缘还有部分未连接,为取得较完整的边缘检测结果,还需进行噪声的滤除,均值滤波是图像处理中一种消除噪声的基本方法,主要包括简单均值滤波、线性加权滤波、倒数梯度滤波等。本文在线性加权滤波方法的基础上,对滤除噪声进行了改进,在消除噪声的同时保留图像细节,如式 (7) 所示。

$$F_4(s,t) = \frac{\sum_{u=-a}^a \sum_{v=-b}^b w(u,v) F_3(s+u,t+v)}{\sum_{u=-a}^a \sum_{v=-b}^b w(u,v)} \quad (7)$$

式中, $w(u,v)$ 为滤波掩码,其大小为 $m \times n$, 定义 $a = (m-1)/2$, $b = (n-1)/2$, $F_3(x,y)$ 的大小为 $M \times N$, 则 $s=0, 1, 2, \dots, M-1$, $t=0, 1, 2, \dots, N-1$ 。

图像中常常含有断边或者伪边,而形态学中的闭运算一般会将狭窄的缺口连接起来形成细长的弯口,并填充比结构元素小的洞。因此运用与 $w(u,v)$ 相同大小的结构元素 h 对 F_4 进行闭运算,如下所示:

$$F_5 = F_4 \cdot h = (F_4 \oplus h) \ominus h \quad (8)$$

而开运算完全删除了不能包括结构元素的对象区域,平

滑了对象的轮廓,断开了狭窄的连接,去掉了细小的突出部分。用同样的结构元素 h 对 F_5 进行开运算,如下所示:

$$F_6 = F_5 \circ h = (F_5 \ominus h) \oplus h \quad (9)$$

由于开运算和闭运算中都包含了膨胀操作,为进一步增强 F_5 、 F_6 两幅图像的亮度及对比度,将两幅图像相乘,如下所示,以便于目标区域的检测。

$$F_7 = F_5 \cdot F_6 \quad (10)$$

1.3 区域生长法

区域生长是根据事先定义的准则将像素或子区域聚合成更大区域的过程,区域生长一般有 3 个步骤:选择合适的生长点;确定相似性准则即生长准则;规定生长停止条件^[10]。

种子点的选取一般根据具体问题的特点来确定。本文以红外图像经处理后的亮度最大点为种子点,在区域生长的阈值自适应调整的过程中,以事先制作好的目标形状模板大小为生长准则参考,区域生长面积与目标模板面积相比大于 u 时视为分割过度,则将区域生长阈值减少 ΔT ;区域生长面积与目标模板面积比小于 v 时视为分割不足,则将区域生长阈值增加 ΔT ,以此自动调整区域生长的阈值。以此类推,如果该种子点形成了区域,则在处理后的红外图像中搜寻亮度最大点,形成另一个种子,用该种子重新搜索^[11]。

根据区域生长算法的结果,对其灰度增强,按照目标性状模板在原图中进行目标检测,如图 4 所示。

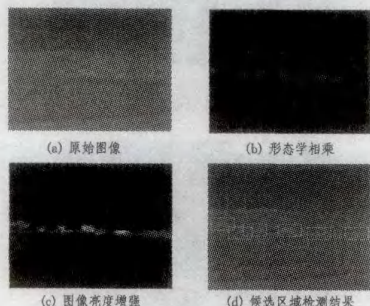


图 4 示意图

2 图像匹配

对于检测出的候选目标区域,需要将目标部分提取出来,以利于后续的目标识别。因此,首先需对每一个区域进行筛选,以确定真实的目标区域。

2.1 目标区域筛选

根据图 4(d) 所示的检测结果,对每一个区域的置信度进行测量,以确定目标区域。我们知道 Sigmoid 函数(见图 5)是一个连续的非线性函数,如式(11)所示。

$$y = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (11)$$

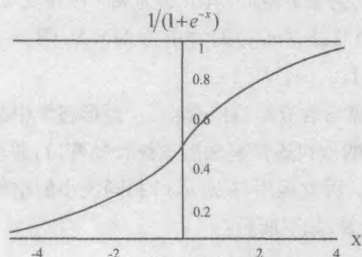


图 5 Sigmoid 函数

从其表达式及函数图可知,其输出范围为 $[0, 1]$, 形状如“S”^[12]。根据 Sigmoid 函数定义置信测度,为:

$$C_i = \frac{1}{(1 + e^{-\lambda_1(\mu_i - \mu_1)})} \times \frac{1}{(1 + e^{-\lambda_2(\mu_i - \mu_2)})} \quad (12)$$

式中, μ_i 和 μ_b 分别对应第 i 个目标区域的目标部分和背景部分; λ_1 和 λ_2 为参数,用于控制函数的渐变强度; μ_1 和 μ_2 为函数中的偏移量,用于控制函数渐变的范围。当目标部分亮度较大且对比度较强时,置信测度 C_i 取值将趋近于 1, 否则,趋近于 0。因此,对检测的每一个区域,其置信测度取值越大,为真实目标区域的可能性就越大。

由图 6 可看出,在经过目标区域筛选后的结果中,目标筛选结果十分明显,排除了检测结果中的许多干扰因素,以便于更好地进行背景与目标的分离。



图 6 筛选结果

2.2 目标识别

大多数情况下,红外图像具有复杂的背景,且目标亮度较暗,与背景形成的对比度较小,目标区域筛选结果不能完全确定真实目标。这时需从筛选的候选区域结果入手,对区域纹理进一步分析提取,以便找出候选区域与相邻部分的相似性关系。

小波变换理论具有许多其它理论所不具备的优良特性,如正交性、方向选择性、可变的时(空)频域分辨率等,这些良好的分析特性使小波变换成为图像处理的一种强有力的工具和手段。

小波函数通常用 $\psi(x)$ 表示,如果基本小波 $\psi(t)$ 满足容许条件:

$$C_\psi = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\psi(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty \quad (13)$$

则对于任一函数 $f(t) \in L^2(\mathbb{R})$, 其连续小波变换定义为:

$$W_f(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (14)$$

式中,尺度参数 $a > 0$, b 为平移参数。根据 Parseval 定理,式(14)可以写为:

$$W_f(a, b) = \frac{\sqrt{a}}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f(\omega) e^{i\omega b} \psi(a\omega) d\omega \quad (15)$$

式中, $f(\omega)$ 为表示 $f(t)$ 的傅里叶变换。

Haar 小波是最简单的一种小波,它不仅具有小波的全部性质,而且计算方便^[7]。其定义如下:

$$\psi(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x < 1/2 \\ -1, & 1/2 \leq x < 1 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (16)$$

其函数图如图 7 所示。

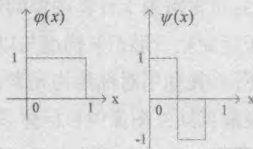


图 7 Haar 小波的尺度函数和小波函数

对筛选后的每一个目标候选区域进行目标识别时,需对区域图像进行 Haar 小波一级分解,这些层分别为:HL(水平系数)、LH(垂直系数)、HH(对角系数)。Haar 小波变换的 LL 表示了图像的基频部分,抗干扰性强,但是其相关性比较大,可以用 LL 部分的不变矩、重心等特征量进行特征匹配; Haar 小波变换的 HL、LH 分量包含了候选区域不同方向的高频信息,其中含有边缘信息和突变信息;用 Haar 小波分量进行检测计算可大大提高识别速度。

运用 Haar 小波提取目标流程如下:

Step1 用 Haar 小波对每一个候选区域进行多尺度分解,得到 LL、LH、HL、HH 4 个分量,在匹配时只运用 LH 和 HL 两个分量,假设为 e_1, e_2 , 组合成向量 $E=(e_1, e_2)^T$ 。

Step2 每一个候选区域分解计算 Haar 小波分量后,还需考虑与相邻部分的关系,采用移动窗口在区域周围的 8 个方向进行平移,窗口移动的 8 个方向有重叠,重叠部分暂不考虑其影响,如图 8 所示,斜纹部分为移动窗口,实体部分为目标候选区域。分别计算该区域 8 个方向邻域的 Haar 小波 LH 和 HL 分量,即 E_1, E_2, \dots, E_8 。

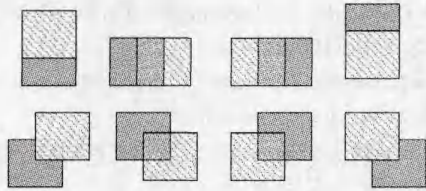


图 8 纹理分析图

Step3 对于计算得到的各个向量,运用欧氏距离进行相似性计算,以便测量出候选目标区域与周围 8 个邻域窗口的纹理相似性。通过实验确定阈值 τ , 当 $dist > \tau$ 时,该候选区域为真实的目标区域,否则,为错误的检测。

$$dist = \min \sqrt{\sum_{i=1}^8 (E - E_i)^2} \quad (17)$$

Step4 在红外实时图中以目标形状模板为基础,运用 NCC 算法识别目标,最终识别的目标位置将在实时图中框出。

目标识别结果如图 9 所示。



图 9 实验结果图

3 实验及结果分析

为了验证本文所提算法的整体性能,在 CPU3.0 GHz、内存 1GB、WindowsXP、Matlab2009 的实验环境下进行了仿真实验。以图像中背景干扰因素多、目标与背景灰度差异小的复杂地面目标为仿真实验对象,为更加明确地表明算法中目标基准图与红外实时图中相应大小区域的相似性,事先制作

基准图的大小均选为各自目标大小^[14],以此作为目标提取的先验信息。

在模式识别中常用检测率和虚警率来评价分类效果^[16]。对于一个潜在的目标区,可以定义两个事件:潜在的目标属于真实目标(事件 T),或者属于背景(事件 C)。当潜在的目标区经过目标检测系统后,系统输出“是”(Y),则表明潜在的目标区是目标;输出“否”(N),则表明潜在的目标区属于背景。检测率定义为给定一个事件 T,其响应为“Y”的概率。而对于给定事件 C 其响应为“Y”的概率则称为虚警率。

$$\text{检测率} = P(Y|T)$$

$$\text{虚警率} = P(Y|C)$$

为明确本文所提检测算法的精确度及优越性,将采用本文算法与经典的基于 Nprod 的形状模板匹配算法以及基于阈值的 otsu 检测算法进行实验分析。图 10 中给出两组场景中的某一幅图像,目标分别为两个烟囱中的左侧烟囱。

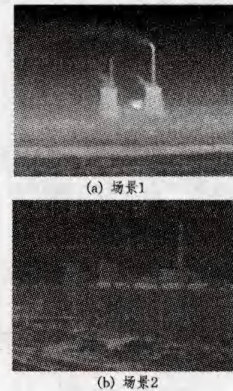


图 10 场景图

为了对检测算法进行更准确的评估,本文采用 ROC 曲线来比较不同的检测算法。ROC (Receiver Operating Characteristic) 曲线称为受试者工作特征曲线,曲线上各点反映着相同的感受性,它们都是对同一信号刺激的反应,只不过是几种不同的判定标准下所得的结果而已。接受者操作的特性曲线就是以虚报概率为横轴、击中概率为纵轴所组成的坐标图和被试在特定刺激条件下根据不同的判断标准得出的不同结果画出的曲线。

由图 11 可以看出,针对目标与背景灰度差异小的场景,本文提出的算法与基于 Nprod 的形状模板匹配算法以及基于阈值的 otsu 检测算法相比,效果明显优于其余两种算法,在虚警率达到一定值时,本文方法目标检测率可达到 100%,具有一定的优越性。基于 Nprod 的形状模板匹配算法需要预先决定图像中潜在目标的个数。基于阈值的 otsu 检测算法由于需要确定全局阈值,因此对于低对比度图像适应性不好。由图 10 可知,场景 1 成像质量较好,对比度很高,较容易检测出目标,目标检测正确率随着虚警率的增加而提高很多;而场景 2 中目标尺寸较小,与背景的灰度差异较小且背景干扰较多、图像较复杂,采用基于 Nprod 的形状模板匹配算法以及基于阈值的 otsu 检测算法易产生误匹配,整体效果不如场景 1 的检测率高。

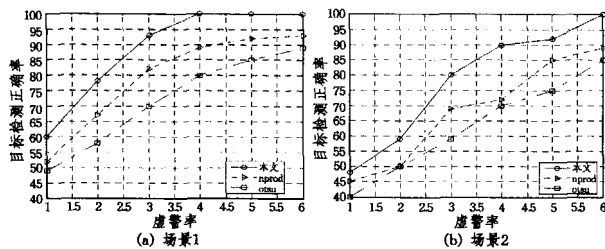


图 11 两组场景 3 种方法 ROC 曲线比较

4 实验结论

通过实验,可得如下结论:

1) 针对目标处于复杂背景时,直接提取特征进行匹配容易受到相似目标的影响、识别率不高的问题,本文提出的目标识别算法在多级形态学目标检测后运用 sigmoid 函数进行筛选,缩小了下一步目标提取的搜索范围,并引入 Haar 小波方法从区域纹理入手,综合考虑了候选区域及其周边 8 方向邻域的相似性关系,明确了图像目标识别中对红外实时图目标的提取,并运用目标模板的先验知识进行目标识别。

2) 为检验本文所提算法的性能,针对几种不同红外图像进行仿真试验、分析。相对于经典的模板匹配算法和 otsu 阈值检测算法,本文提出的算法目标检测率较高,提升了识别精度。

3) 本文算法有效解决了前视红外复杂地面固定目标无可用基准图、背景干扰严重、匹配识别难的技术问题,对于复杂地面目标前视红外图像的匹配识别具有一定应用价值。

参 考 文 献

[1] 同武勤,凌水顺,黄超超,等. 数学形态学和小波变换的红外图像处理[J]. 光学精密工程,2007,15(1):139-143
 [2] 汪洋. 面向自动目标识别的图像压缩关键技术研究[D]. 长沙:

国防科学技术大学,2006

[3] Rivest J. Morphological operators on complex signals [J]. Signal-Processing,2004,84(1):133-139
 [4] Angulo J. Geometric algebra colour image representations and derived total orderings for morphological operators—Part I: colour quaternions[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation,2010,21(1):33-48
 [5] Heijmans H J A M, Beatrice P P, Piella G. Building nonredundant adaptive wavelets by update lifting[R]. Research Report PNA-R02xx. CWI, Amsterdam, 2002
 [6] 王广君,王伟,等. 基于 Haar 小波的地形匹配技术[J]. 电波科学学报,2002,17(3):240-244
 [7] 宋燕星,袁峰,丁振良. 目标感兴趣区域检测算法[J]. 吉林大学学报,2010,40(5):53-54
 [8] 崔屹. 图象处理与分析——数学形态学方法及应用[M]. 北京:科学出版社,2000
 [9] Maragos P. Tutorial on advances in morphological image processing and analysis [J]. Optical Engineering,1987,26(7):623-63
 [10] 张丽红,张慧,王晓凯. 边缘检测和区域生长相结合的图像 ROI 提取方法[J]. 计算机技术与发展,2011,21(4):234-237
 [11] 夏晶,孙继银. 基于区域生长的前视红外图像分割方法[J]. 激光与红外,2011,41(1):107-110
 [12] Hertz J, Plamer R. Introduction to the neural computation[M]. Addison Wesley, California, 1991
 [13] 曹跃云,柳健. 基于 Haar 小波的海底地形匹配方法研究[J]. 海军工程大学,2005,17(6):62-71
 [14] 高晶,孙继银,等. 基于区域模糊阈值的前视红外目标识别[J]. 光学精密工程,2011,19(12):3056-3063
 [15] D D S, Mh E, V R. Max-mean and max-median filters for detection of small targets[A]//SPIE[C]. 1999:74-83
 [16] 程蕾. 基于局部特征几何结构的目标识别方法研究[D]. 合肥:中国科学技术大学,2010

(上接第 278 页)

[2] 宋沫飞,孙正兴,张尧焯,等. 采用单幅草图的正交多面体模型生成方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2012,24(1):50-59
 [3] 孙建勇,金翔宇,彭彬彬,等. 一种快速在线图形识别与规整化方法[J]. 计算机科学,2003,30(02):172-176
 [4] Qin S F. Intelligent classification of sketch strokes [C] // Proc of the International Conference on Computer as a Tool. 2005: 1374-1377
 [5] 宋保华. 面向产品概念设计的智能草图研究[D]. 西安:西北工业大学,2003
 [6] 袁浩,卢章平. 基于邻边推理求隐藏元素的正等轴测图 3D 重建[J]. 中国图象图形学报,2004,9(2)
 [7] Company P, Contero M, Varley P, et al. Computer-aided sketching as a tool to promote innovation in the new product development process [J]. Computers in Industry, 2009, 60(8): 592-603
 [8] Company P, Piquer A, Contero M, et al. A survey on geometrical reconstruction as a core technology to sketch-based modeling [J]. Computers & Graphics, 2005(29): 892-904
 [9] Cook M T, Agah A. A survey of sketch-based 3-D modeling

techniques[J]. Interacting with Computers, 2009, 21(3): 201-211
 [10] Chen X J, Kang S B, Xu Y Q, et al. Sketching reality: realistic interpretation of architectural designs [J]. ACM Transactions on Graphics, 2008, 27(2): 1-15
 [11] Contero M, Naya F, Jorge J, et al. CIGRO: A minimal instruction set calligraphic interface for sketch-based modeling [C] // Proceedings of International Conference on Computational Science and its Applications, Part III. Heidelberg: Springer, 2003: 549-558
 [12] 银红霞,杜四春,蔡立军. 计算机图形学[M]. 北京:中国水利水电出版社,2005:113-119
 [13] Varley P A C. Automatic Creation of Boundary-Representation Models from Single Line Drawings [D]. Department of Computer Science University of Wales College of Cardiff. <http://ralph.cs.cf.ac.uk/Data/Sketch.html>, 2002-12
 [14] Sunday D. Area of Triangles and Polygons(2D&3D)[OL]. http://softsurfer.com/Archive/algorithm_0101/algorithm_0101.html