

概念设计中草图类型笔触的语义理解研究*

袁浩, 王军伟, 卢章平, 李明珠

(江苏大学机械工程学院, 江苏镇江 212013)

摘要: 通过研究设计人员在绘图中的绘制行为及习惯, 提出了一种笔触语义与几何特征相结合的草图理解技术, 目的是建立一个在创意阶段适合概念设计人员的手绘交互界面系统。这种方法按照草绘过程提取笔触类型并分析其中所含的语义特征, 通过定义弯曲度阈值、压力度阈值的概念, 采用阈值检测来判断和理解草绘笔触类型, 将其融入到草绘各个阶段。结果使得不同阶段、不同功能笔触类型得到有效分类和辅助识别, 并且草绘过程中可以通过人机交互方式实现草绘稿和规整线稿的转换。实验表明, 这种手绘方法既在一定程度上达到了手绘效果, 又不妨碍设计者创意思路的延伸, 满足了个性化的绘制习惯。

关键词: 概念设计; 类型笔触; 手绘; 理解; 语义; 几何; 交互界面

中图分类号: TP391.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2013)09-2875-03

doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2013.09.081

Semantic understanding technology of sketch type-stroke in concept design

YUAN Hao, WANG Jun-wei, LU Zhang-ping, LI Ming-zhu

(School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu 212013, China)

Abstract: Through the study on drawing behavior and habit of designers, the paper gave a sketch understanding method which combined stroke semantic feature and geometric feature. The paper's purpose was to build a hand-drawn interface system for concept design personnel in the creative development research. According to conceptual sketching process, the paper extracted strokes types, and analyzed the semantic features. By the concept definition of "bending threshold" and "pressure strength threshold", it used threshold detection to determine the strokes types, which could be used into rough stages. The results made different stages, different types of stroke function effectively classified and auxiliary recognized. The designers could choose the way between drafting interface and understanding interface by man-machine interactive function in the sketching process. The test result shows that this kind of method not only can get a hand-drawn effect, but also shall not prevent the designer's creative thinking process and can meet the personalized drawing habit.

Key words: concept design; stroke type; hand-drawn; understand; semantic; geometry; interface

0 引言

草图是产品设计概念产生阶段的重要设计手段之一。在进行产品早期概念草图设计(concept sketches design)时,传统方式是先利用笔在纸上绘出草图,记录设计师的灵感,再进行详细的草图设计及产品结构图设计。随着笔输入设备及交互技术的日趋成熟,为基于笔输入的在线草图绘制提供了可能,为计算机辅助草图设计带来了契机,并可以实现草图文档的有效编辑和管理。人机交互式的草图理解技术研究是以实时的方式自动识别出绘制者绘制图形所对应的规则图形,并给出相应的合理解释。

近年来国内外学者针对计算机辅助草图(computer aided sketch, CAS)技术开展了大量相关研究。这些研究大多局限在草图识别领域,草图识别在于尽可能地消除草图的随意性、模糊性和个性化差异。针对这一目的,基于笔触、基本图元、几何特征和组合图形表示的智能识别技术已经取得了丰硕成果^[1-5]。

冯桂焕等人^[6]提出了一种将几何特征和HMM相结合的方法实现图元分割点查找和图元类型判定;天津大学的刘文明和李海磊分别提出了基于SVM形状空间约束的复合草图表示方法和基于agent的草图识别方法^[7,8]。如今迫切需要结合领域知识的草图理解技术作进一步深入的研究。

笔触作为草图中最基本的构成单元,为草图理解提供了最自由的理解规则,同时也为笔者从草绘行为习惯出发研究笔触理解规则提供了思路,但正是由于笔触的随意性,也给基于笔触的草图理解技术带来了不少难题。为此,Shptalni等人^[9]提出了一种在线笔触分类方法,该方法基于线性最小二乘法利用二次曲线及圆锥曲线方程的自然分类属性来区分线、椭圆弧和角点等笔触信息,并采用自适应半径阈值约束获取草图的拓扑结构。

本文从草绘行为出发,结合产品设计领域的概念草图特点,以在线输入的二维自由笔触为研究对象,提出并描述了产品草图中经常用到的类型笔触语义理解规则。草绘系统框架如图1所示。

收稿日期: 2012-11-07; **修回日期:** 2012-12-27 **基金项目:** 江苏省高校哲学社会科学研究基金资助项目(2011SJB760004)

作者简介: 袁浩(1975-),男,江苏丰县人,副教授,硕导,博士,主要研究方向为数字化工业设计、CAD&CG;王军伟(1986-),男,河北邢台人,硕士,主要研究方向为机械CAD及计算机辅助工业设计(wangjunwei0223@163.com);卢章平(1958-),男,江苏扬州人,教授,博导,博士,主要研究方向为工程信息可视化、CAD技术;李明珠(1984-),女,安徽安庆人,讲师,博士,主要研究方向为数字化工业设计。

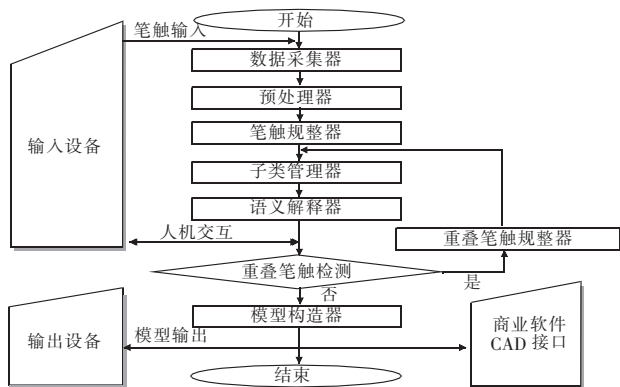


图1 草绘系统框架示意图

1 概念草绘行为分析

1.1 草图绘制流程

在对大量产品设计草图研究的基础上,笔者发现产品草图绘制的总体思路遵从由大到小、由整体到局部的绘制规律。本文归纳设计师创新思维习惯的草图绘制流程,将其分为六个基本阶段,如图2所示。

根据实际产品草图中各阶段的绘制特点,归纳出符合实际产品结构的草图特征笔触类型,在挖掘笔触几何特征和笔触语义的基础上将其分为八类笔触,如图2所示。

作者在互联网上以“概念草图”为关键字检索了500张概念草图,并对其中出现的笔触类型进行了数量上及绘制概率的统计,为后续制定有效算法提供了指导,如图3所示。

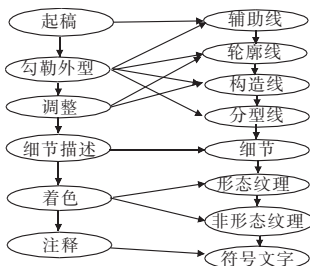


图2 草绘行为流程图

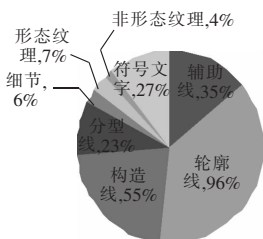


图3 类型笔触绘制概率统计

在面向概念设计阶段草图的研究中发现,概念设计要侧重处理的是草图的宏观信息,其中对草图宏观信息的影响大致遵从笔触类型在概念草绘过程中出现的顺序,即辅助线、轮廓线、构造线和分型线等。自细节以后出现的笔触类型多用来修饰或注释草图的局部特征或表达草图效果,符号文字在概念草图中出现的比例达到了27%,但它不能适用于常规的草图理解规则。

1.2 类型笔触特征分析

本文将对概念设计阶段的设计草图把握在整体效果的表达研究。因此对于草绘过程关键笔触类型作了详细的语义及几何特征分析,为下文制定算法奠定了基础,如表1所示。

通过对大量草图的手绘练习及分析发现,对于专业的设计人员来说,在不能确定准确的绘制意图之前,无论是什么线型,往往会采用轻笔绘制,下笔力道的大小即是绘制把握能力的间接体现。绘制辅助线下笔压力小,如果辅助用线需要加以突出而成为主要的特征轮廓线,设计人员往往会采用力度大的笔触对其进行覆盖。

相对于构造线来说,分型线的弯曲程度往往较小,介于辅

助线和构造线之间,可以为其设定阈值,将辅助线、分型线、构造线的弯曲度不同而区别开。对其中可能出现的错误识别,先通过检测压力度,已经确定是否检测为轮廓线,如果压力度不足以被识别成轮廓线,则再通过弯曲度检测,理解为相应笔触。如果需要,设计者可以在后续设计中随着绘制意图的清晰化用准确的轮廓线将其覆盖掉,如果没有产生覆盖的轮廓线,那么这些辅助线或分型线也会随着规整过程而被隐藏掉或作虚化处理,不会影响后续的工程草图视觉效果。

表1 类型笔触特征分析

类型	语义特征	几何特征
辅助线笔触	用在起稿时,勾画画面整体布局,对后续绘制起到参考作用;视具体产品复杂程度可选择性绘制;随着后续笔触的绘制可能被覆盖	直线形式为主,运笔轻,没有粗细虚实变化,有明显方向性,透视画法时具有明显汇聚效果,多以辅助线框形式绘制,可表达对称和比例特征
轮廓线笔触	使用频率最高,表达产品内外轮廓特征,随着对产品创意深入,需局部强调;运笔力度随表达的肯定程度而不同,局部产生重叠笔触	直线和低阶曲线为主,弯曲度灵活,笔触具有明显粗细变化,易产生交叉和间隙
构造线笔触	用于轮廓线后,绘制在轮廓线包围区域,表达立体曲面的起伏和凹凸特征;无重叠笔触产生	低阶曲线为主,弯曲程度随轮廓曲面而起伏,用力轻盈,运笔流畅
分型线笔触	是否绘制取决于产品结构、形状对称性、模具型腔等因素,对草图整体布局起到分割作用;绘制规则产品草图时易与辅助线界限不明	线条随曲面特征而弯曲变动,特殊视角呈直线,用力轻盈;视觉上是对产品平面或曲面的平滑分割

2 类型笔触语义理解算法

通过对类型笔触进行语义及几何特征提取,制定出以下理解规则流程,这一流程的实现发生在草绘界面到规整界面过程,如图4所示。

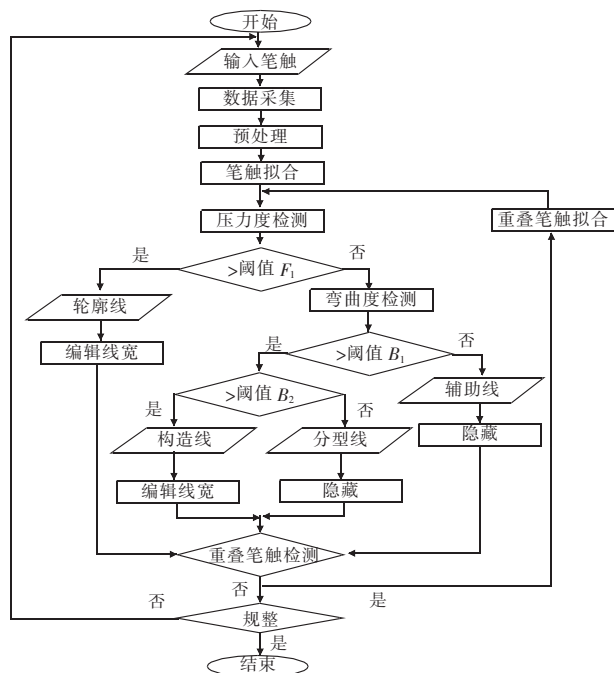


图4 类型笔触理解算法流程图

计算机模拟艺术笔触绘制效果需要依赖笔触型值点储存的物理信息。笔触轨迹根据采样型值点坐标插值得到,本文采用三次样条插值和型值点填充算法实现笔触的连接和近似曲线显示,型值点划分区间^[5]以1个像素为标准,这样笔触显示出的整体效果可近似为由采样型值点顺次连接的多条线段构

成的光滑曲线。类型笔触语义理解技术的研究主要依赖于采样型值点的坐标样本和手写设备记录的笔压样本。

笔触路径由 n 个型值点 $pt_i(x_i, y_i, p_i, P_i, L_i, S_i, T_i)$ 表示,各个型值点的位置坐标为 (x_i, y_i) , 压力值为 p_i , 手写板对笔压的感知范围为 $0 \sim 255$, 其中 $i=0, 1, \dots, n-1$ 。

1) 压力度检测

P_i 表示动态笔触压力, 本文算法借鉴了回归思想对笔触压力进行描述, 这种方式较之压力均值的方法使得系统理解稳定性更高。如下式所示:

$$P_i = \frac{\sum_{k=0}^i \sqrt{p_k}}{i} \quad 0 < p_i \leq 255$$

结合设计人员的手绘行为及绘制习惯, 需要测知设计者习惯的笔压感知范围。经过反复实验统计, 本文对压力度阈值 (pressure strength threshold) F_1 取值为 6, 将其与草绘系统检测到的动态笔触压力相比较后进入子类管理器进行后续语义理解。绘制习惯因人而异, 因此研究具有自学习性的算法是今后的必然趋势。

2) 弯曲度检测

L_i 表示沿着曲线各型值点间的近似弦长, 如下式所示:

$$L_i = \begin{cases} 0 & i=0 \\ \|pt(t_i) - pt(t_{i-1})\| & i=1, 2, \dots, n \end{cases}$$

S_i 表示对沿着曲线的近似距离, 如下式所示:

$$S_i = \begin{cases} 0 & i=0 \\ \sum_{k=1}^i \|pt(t_k) - pt(t_{k-1})\| & i=1, 2, \dots, n \end{cases}$$

T_i 表示连接各采样型值点的累积弦长, 如下式所示:

$$T_i = \begin{cases} 0 & i=0 \\ T_{i-1} + \frac{\sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}}{\sum_{k=1}^i \sqrt{(x_k - x_{k-1})^2 + (y_k - y_{k-1})^2}} & i \neq 0 \end{cases}$$

需要注意, 在本文算法中型值点采用等时采样而不是等弦长采样。即使经过冗余点剔除及复杂笔触分段等预处理步骤, 型值点的序列 ID 依然保留。为了尽可能如实反映型值点的弯曲程度及分布情况, 算法采用累积弦长思想^[10]来处理型值点得到最终的累积弦长参数 T_i , 经过与弯曲度阈值 (bending threshold) $B=1.05$ 及 $B_2=1.15$ 比较, 由系统规整为相应的类型笔触并进行后续语义理解。

3 语义理解技术实例推演

3.1 语义理解处理阶段概述

草绘和理解过程分别需涉及到数据采集、笔触预处理^[5,8,11,12]、笔触拟合^[9,12~14]、重叠笔触处理^[15,16]等过程。

1) 数据采集 本文用 WACOM 影拓三代手写板作为输入设备, 将 WINTAB 函数库与 MFC 进行接口设计, 利用手绘板软件提供的 PACKET 结构记录手写笔物理状态, 同时将其与计算机中的人机交互界面进行匹配, 将型值点信息显示在屏幕上。以上步骤发生在草绘阶段。

2) 笔触预处理 手写板记录的型值点序列可用冗余度刻画, 其中冗余度为某型值点到相邻型值点构成线段的距离, 即型值点划分区间, 参见第 2 章。手绘草图过程中, 绘制开始或结束阶段手控制的不稳定性会导致角点的产生, 本文结合绘制速率、夹角和距离检测算法, 实现了角点模糊性信息的有效去除^[8,11,12], 如图 5 所示。

3) 笔触拟合 要拟合所有型值点, 会占用大量内存, 增加空间复杂度, 同时拟合复杂曲线函数会大大增加时间复杂度。本研究不强制将弯曲度小的曲线规整为直线, 而是利用不同笔触的弯曲度特点, 设置阈值进行描述, 将其拟合成相应的类型笔触曲线, 从而在满足草绘设计个性化需求的同时, 将不同笔触的信息准确有效地表达出来。需要指出, 对于压力度要求较小的辅助线及分型线的规整笔触会在显示屏中隐藏, 图中不同弯曲度笔触全部以轮廓线类型笔触的方式显示。

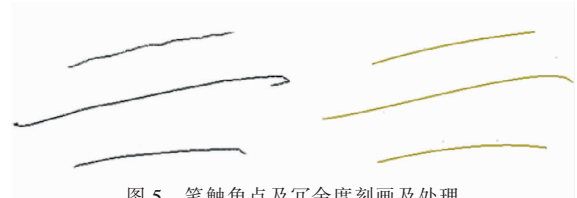


图5 笔触角点及冗余度刻画及处理

4) 重叠笔触处理 经过压力度检测判定出轮廓线笔触并显示, 经过弯曲度检测判定出辅助线和分型线笔触进行隐藏, 判定出构造线笔触并显示。考虑到设计人员经常会补充笔触或用叠加笔触强调绘制意图: a) 修改笔触不准确的位置形态; b) 强调要突出的笔触。结果会出现多条笔触重复绘制或近似重叠等大量模糊信息。正是这些非准确性及重叠模糊笔触传递出设计人员对特征线的诉求, 本文算法可有效地判断并将其处理成单一的笔触, 以特征轮廓线的方式准确显示。

3.2 类型笔触语义理解实例

本研究采用 Post-WIMP 人机交互界面, 设计者可以结合自己的设计意图进行修改, 通过点击界面图标按钮实现草绘与规整界面相互转换以检验设计结果, 如图 6 所示。

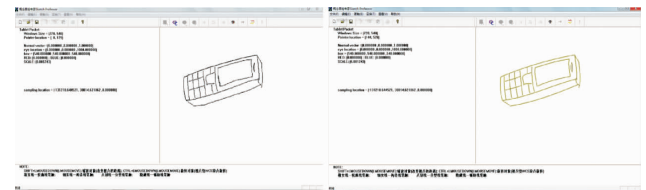


图6 概念草绘系统交互界面

这种草绘理解系统有效地融合了艺术的自由与工程的严谨, 可以帮助设计人员获得满意的设计结果。图 7、8 是根据笔触弯曲度不同草绘的两个实例。

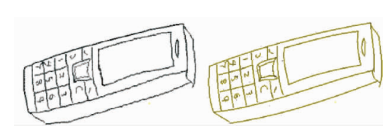


图7 手机的概念草绘



图8 鼠标的概念草绘

4 结束语

本文主要针对在线实时绘制的概念草图提出一种新的理解方法, 并在 MFC 中结合 OpenGL 和 WINTAB 函数库编写的平台上进行验证。初步验证可以看出, 该平台可以有效地将概念草绘粗稿规整为较为严谨的工程草图, 后续研究也可以进行商业接口设计, 实现格式转换与存储工作和与其他软件的有效衔接。

需要指出, 本文虽对其进行了初步验证, 但对于压力度阈值和弯曲度阈值的选取由实验统计方法所得, 后续研究将采用机器学习理论, 就更加具有用户适应性的动态阈值算法作深入研究。

(下转第 2880 页)

3.1 实验结果

3.1.1 融合效果

图6、7分别给出了传统方法和新方法的拼接结果。可以看出,在图6标示的几个局部区域中,拼接细节并没有实现很好的融合,甚至出现直线型框架的错位,而图7所示结果的相应区域则很好地避免这个问题,获得了更好的拼接性能。由此可见,新方法是实际有效的。

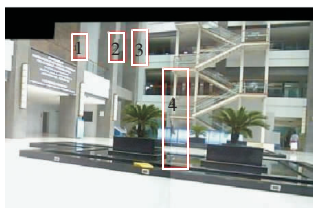


图6 传统方法的拼接结果



图7 新方法的拼接结果

3.1.2 时效性比较

为了比较新方法的实时性,笔者考虑对同一组图像的多分辨率图像对进行拼接实验。选取的分辨率分别为 192×256 、 200×272 、 224×304 、 256×336 、 640×480 。所得的时间对比值如表1所示。

表1 传统方法与本文方法的时效比较

分辨率	传统算法	本文算法
192×256	0.762	0.954
200×272	0.992	1.326
224×304	1.036	1.687
256×336	1.6297	2.0487
640×480	2.0246	2.8956

3.2 结果分析

综合上述实验结果可知,新方法与传统方法在同一分辨率图像上所用时间相差不多,但性能上有了改善,特别是在局部细节上提升明显。特别地,传统标准方法可以明显看出有色彩融合不好的大片区域,而新方法看不出色彩叠加块。

4 结束语

为提升图像拼接的细节质量,对实景照片中普遍存在的直线段进行配准,并以此为基础,实现一种新的图像拼接方法。实验分析与实际应用显示,新方法具有明显的性能提升,拼接

得到的新图像可更好地用于真实场景的三维虚拟展示。

参考文献:

- [1] 周剑军,欧阳宁,张彤.基于RANSAC的图像拼接方法[J].计算机工程与设计,2009,30(24):5692-5694.
- [2] 赵向阳,杜利民.一种全自稳健的图像拼接融合算法[J].中国图象图形学报,2009,9(4):417-422.
- [3] SNAVELY N,SEITZ S M,SZELISKI R. Photo tourism:exploring photo collection in 3D[J]. ACM Trans on Graphics,2006,25(3):835-846.
- [4] SZELISKI R. Computer vision: algorithms and application[M]. [S. l.]:Springer,2008:216-227.
- [5] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision,2004,60(2):91-110.
- [6] MOORE A. An introductory tutorial on kd-trees, Technical Report 209[R]. [S. l.]:Computer Laboratory, University of Cambridge, Carnegie Mellon University, 1991.
- [7] BEIS J S, LOWE D G. Shape indexing using approximate nearest-neighbour search in high-dimensional[C]//Proc of Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington DC: IEEE Computer Society,1997:1000-1006.
- [8] 贾丹.摄像机现场标定算法研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2007.
- [9] SONKA M,HLAVAC V,BOYLE R. Image processing, analysis, and machine vision[M]. 2nd ed. US:Thomson Learning,2006:449-457.
- [10] SATTTLER T, LEIBE B, KOBELT L. SCRAMSAC: improving RANSAC's efficiency with a spatial consistency filter[C]//Proc of the 12th IEEE International Conference on Computer Vision. 2009:2090-2097.
- [11] MARQUEZ-NEILA P,GARCIA M J,BUENAPASADA J M,et al. Improving RANSAC for fast landmark recognition[C]//Proc of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. 2008:1-8.
- [12] MIKOLAJCZYK K,SCHMID C. A performance evaluation of local descriptors[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis Machine Intelligence,2005,27(10):1615-1630.
- [13] 韩黄璞.基于成像规律的CCD镜头畸变的快速校正[D].西安:西安工业大学,2012.
- [9] SHPTALNI M,LIPSON H. Classification of sketch strokes and corner detection using conic section and adaptive clustering[J]. Trans of ASME J of Mechanical Design,1996,119(2):131-135.
- [10] 戴仕全.自适应三次样条插值逼近算法研究[D].大连:大连理工大学,2008.
- [11] 唐磊.面向产品概念设计草图的笔触语义应用与研究[D].镇江:江苏大学,2008.
- [12] 王淑侠,廖达雄,王关峰.一种快速手绘草图的在线识别方法[J].机械制造,2005(12):29-31.
- [13] 王淑侠,王关峰,高满屯,等.基于时空关系的在线多笔画手绘折线段曲线识别[J].计算机科学,2012,39(9):269-274.
- [14] 姜全胜,廖达雄.基于用户建模的手绘草图识别[J].计算机仿真,2009,26(9):176-179.
- [15] 罗湘萍,方贵盛.手绘草图的在线分段识别[J].计算机工程与应用,2010,46(29):173-174,178.
- [16] 杨玲.汽车造型二维到三维多笔触融合算法的研究[D].长春:吉林大学,2008.

(上接第2877页)

参考文献:

- [1] 徐俊文,廖达雄,王淑侠,等.在线手绘电路图的识别研究[J].科学技术与工程,2007,7(6):1089-1094.
- [2] 陈新胜,华庆一.一个简单笔式交互系统的实现[J].计算机应用与软件,2008,25(10):44-45,48.
- [3] 姜映映,田丰,王绪刚.基于模板匹配和SVM的草图符号自适应识别方法[J].计算机学报,2009,32(2):252-260.
- [4] 何阳清.基于几何特征的手势识别算法研究[D].上海:上海海事大学,2004.
- [5] VALOIS J P, COTE M,CHERIET M. On-line recognition of sketched electrical diagrams[C]//Proc of ICDAR. 2001:460-464.
- [6] 冯桂煊,孙正兴,BIARD-GAUDIN C.使用几何特征与隐Markov模型的手绘笔画图元分解[J].软件学报,2009,20(1):1-10.
- [7] 刘文刚.基于支持向量机的复合草图形状识别方法[D].天津:天津大学,2007.
- [8] 李海磊.基于agent的草图识别平台[D].天津:天津大学,2007.