

面向概念设计的组合图形草图识别方法

季海峰 田怀文

(西南交通大学机械工程学院 成都 610000)

摘 要 提出了一种面向机械产品概念设计的组合图形草图识别方法。将图形符号看作由多个单笔划图元构成的图形,首先识别出单个图元的类型并提取它们之间的空间位置关系,然后利用结构匹配法对标准图形结构进行定义,将用户绘制的图形与标准图形结构模板进行比较,筛选出结构相同的图形进行第一次图形过滤,再利用傅里叶形状描述子对图形形状进行描述,计算出图形形状相似度,筛选出形状相同的图形进行第二次过滤,最后将结构与形状两个特征相结合并运用到机械概念草图设计中,快速并准确地识别出机构运动副,实现机械结构的草图识别。

关键词 草图识别,形状描述,概念设计,结构匹配

中图法分类号 TP181 文献标识码 A

Sketch Recognition Method of Combined Graphs for Conceptual Design

Ji Hai-feng TIAN Huai-wen

(College of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610000, China)

Abstract This article introduced a sketch recognition method for conceptual design. The graphic symbol was regarded as composition of multiple single stroke graphs. First, the types of individual primitives were identified and the spatial relationship between them was extracted. Then the structure of standard graph was defined by the method of structure matching. A comparison between the graphics drawn by user and the standard template was made to filter out the graphs with the same structure. Then Fourier shape descriptor was used to describe graphic shapes to calculate the shape similarity, and filter out the graphs with the same shape. By combining the two features of the structure and shape, we could quickly and accurately identify the motion mechanism, extract engineering semantics and realize the capture of design intent.

Keywords Sketch recognition, Shape descriptor, Conceptual design, Structure matching

1 引言

草图识别研究最早开始于 20 世纪 70 年代,从 CAD 技术发展以来对草图的研究一直是人们所关注的。草图绘制已经从键盘输入或是用鼠标点击输入的模式发展成为现在用笔触或是手势进行输入的模式。草图本身是一种设计理念的描述,是作为一种模糊的表达方式。通常在设计某件产品时,首先需要用笔在纸上画出我们所构想产品的概念图形,而不是立刻马上去设计出产品的详细图形。为了捕捉人们稍纵即逝的灵感,把设计者们的思想在第一时间呈现出来,出现了草图识别系统。草图识别系统是一种模拟传统的纸笔交互模式,设计者可以根据设计意图自由勾画,近年来在教学、动画、概念设计等领域有较广泛的研究。由于草图的表达方式具有不确定性、随意性,因此在手绘过程中会出现各种未知状况,如手的抖动、图形不规则等各种噪声,这也给草图识别增加了许多难度。草图识别就是将图形模糊的表达方式转换为精确的表达方式,在识别过程中挖掘用户设计的意图,提取相关的信息。目前也有很多学者对此进行了广泛的研究,也出现各式各样的草图识别系统。如 Teddy 系统可以根据用户勾画的二维轮廓曲线自动构建三维模型^[1]。sKEA 通过定性的空间

关系推理,利用特定的符号描述对象之间的关系、草图相似度的比较等来捕获草图中的各种知识^[2]。马嵩华等人提出了基于贝叶斯网络^[3]的草图规律设计意图捕捉,考虑到不同用户绘制习惯的不同,利用草图绘制规律与设计意图的关系模型实现设计意图捕捉^[3]。上述草图应用的研究说明了草图界面支持自然的交互方式,能够辅助用户快速、自如地表达设计意图,适合于构思创作活动。

本文首先对用户绘制的笔迹做数字化处理^[4],识别出单笔划图元的类型。通过图元之间的关系比较判断出它们之间的空间位置关系,利用结构模板匹配的方法定义好图形的结构模板,并与用户所绘制图形的结构作比较。结构相同则匹配,不相同则无法匹配。再利用质心及傅里叶形状描述^[5]的方法建立图形的特征向量计算图形的相似度^[5],通过设定一个阈值,即相似度大于阈值则相似,小于阈值则不相似来识别图形。

2 图形结构描述与模式识别

2.1 概念设计与组合图形

概念设计是在 1984 年由 Betiz 和 Palh 提出,在确定任务之后,通过抽象化,拟定功能结构,寻求适当的作用原理及其

季海峰 男,硕士,主要研究方向为数字化设计、机械结构及工艺设计,E-mail:59890816@qq.com;田怀文(1965—),男,博士,教授,主要研究方向为智能设计与数字化设计、计算机图形图像处理,E-mail:hwtian@home.swjtu.edu.cn。

组合,确定出基本求解途径,最后得出求解方案^[5]。产品设计分为两个阶段,第一个阶段是概念设计,第二个阶段是详细设计^[5]。概念设计是产品设计的关键阶段,在很大程度上决定了产品最终的成本、性能、功能、市场响应速度和效率。据研究,概念设计虽然只占产品开发成本的5%,但是却占产品总成本的70%,而且详细设计阶段很难纠正概念设计中的错误^[5]。

从20世纪70年代到20世纪末,产品的集成制造发展迅速。产品生命周期中的自动化主要集中在详细设计阶段,已经形成了许多CAD、CIMS系统,且从运动分析到动力分析已有较为成熟的软件,但在概念设计阶段,目前还缺少相关的计算机辅助设计系统。因此,概念设计计算机辅助设计系统是当今一个需要解决的问题。考虑到概念设计过程中设计的随意性、不规则性、干扰大等问题,本文提出了一种组合图形草图识别的方法并将其运用到概念设计当中,用户可以在系统当中用手写板^[6]绘制出机械运动机构,如四连杆机构、曲柄滑块机构等。图1所示为绘制的四连杆机构草图,从图中可以看出整个四连杆机构的图形是由不同类型的图元草图构成。本文将组合图形看成是由基本的图元如直线、圆、矩形等构成的草图,计算机通过绘制的草图对机构进行结构提取并对其形状进行识别。

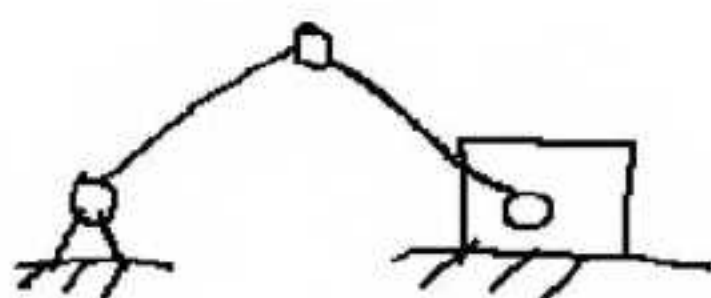


图1 四连杆机构草图

2.2 结构模式匹配

结构模式识别^[8]是由基本组成元素及其相互结构关系组合而成的描述和识别方法。在多数情况下,可以用语言理论中的文法推理来表达结构信息,因此结构模式识别也称为句法模式识别。结构模式识别的系统框架如图2所示,其基本思想是把模式描述成许多子模式的集合,最终得到一个类似于树形结构的描述,最底层的子模式称为模式的基元。主要的识别步骤是,首先要识别模式的基元,其次识别子模式,最后识别复杂模式。模式匹配就是对异构模型进行数据挖掘。通过对模型结构或数据源等相关信息进行收集与分析,寻找出多个模式元素之间语义的对应关系。通常一个映射元素可以用一个关联表达式来说明其语言含义。模式匹配^[8]是输入的模式与定义的模式元素的语义关系之间产生映射。假设 S 和 T 为给定的两个元素,其中, $S=\{S_1, S_2, \dots, S_n\}$, $T=\{T_1, T_2, \dots, T_m\}$,对于模式 S 中的任意元素 S_i ,寻找出模式 T 中与其相似度最高的元素 T_i 。

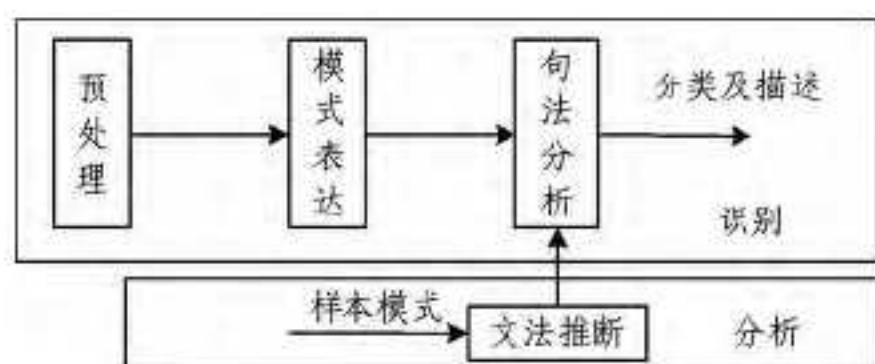


图2 结构模式识别系统框架

模板匹配是最简单的识别方式,用输入的基元串与每个模板模型作比较,从而选出最相似的图形作为结果^[2]。这种模板匹配方法不需要考虑结构模式的上下层次结构^[6]。还有

一种识别方法是研究全部的结构层次信息。本文利用结构模式识别对组合图形进行识别,可以将草图基本图元看成模式的基元,然后通过提取图元与图元的位置关系及相关几何信息等特征数据完成结构的匹配。

2.3 图形结构描述

图形通常是由几何特征、位置关系等特征构成,特征的提取首先需要对它进行特征描述。来自同类不同样本的特征应该非常接近,而来自不同类别的特征相差较大。如男人和女人属于人类的两个不同类别,但分析其身体结构是非常相似的。而人类与猫不是同类别的,其身体结构是不相似的。鉴于本文识别的图形主要是以直线、圆、矩形构成的,所以定义以下几种类型为结构的几何特征:图元个数、直线个数、圆个数、矩形个数、直线与直线相交对数、相邻对数、重合对数、包含对数、平行对数、共线对数。图元与图元之间的位置关系定义可能会由于组合图元类型不同而用不同的定义方法,为此将进一步细分。如相交判断可能是由两直线相交,也可能是直线与圆相交。本文主要考虑以下几种图元组合的位置关系情况。表1所列图元之间所具有的几何位置关系的定义。

表1 图元之间的几何关系

组合类型	位置关系
直线与直线	相交、相邻、平行、重合、共线
直线与圆	相交关系
直线与矩形	相交关系
矩形与圆	包含关系
圆与圆	同心

有了图元及图元之间位置关系的特征量之后,就需要对整个图形的结构进行描述,本文采用的图形结构描述法如下:

```
struct graphProperty
{
    BYTE nStroke; // 图元的个数
    BYTE nLines; // 直线的个数
    BYTE nCircle; // 圆的个数
    BYTE nRectangle; // 矩形的个数
    BYTE nLineIntersects; // 直线与直线相交的个数
    BYTE nLineCircleIntersects; // 直线与圆相交的个数
    BYTE nXiangQie; // 直线与圆相切的个数
    BYTE nParaLine; // 平行直线的对数
    BYTE nAdjcent; // 邻接直线对数
    BYTE nSameLine; // 共线对数
    BYTE nLineRectIncluded; // 圆矩形包含对数
};
```

图形的结构是一个十分重要的特征,不同的图形具有不同的结构特征,根据结构对图形进行分类是最简单的方法。本文将图形的结构作为识别的第一步筛选。由图形结构的定义可知,本文图形结构由11个特征组成,在提取了图形的11个特征以后,将绘制的图形结构与模板库标准的图形结构作比较,得到与模板库最为相似的结构作为匹配结果。图形模板库的格式定义如下。

```
图元个数 1
图形 1
特征 1; 特征 2... 特征 11
图形 2
...
图元个数 2
图形 1
```


特征₁; 特征₂... 特征₁₁

...

图3示出事例图形, 它们的结构定义分别为:

图元个数₂

图形_(a)

直线个数₂ 相邻个数₁ 其余为₀;

图形_(b)

直线个数₁ 圆个数₁ 直线与圆相交个数₁ 其余为₀;

图元个数₃

图形_(a)

直线个数₂ 圆个数₁ 直线与圆相交个数₂ 其余为₀;

...

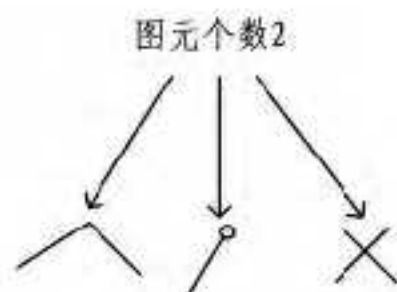


图3 结构事例图形

图元类型及不同位置关系(相交、相邻等)的个数可以通过统计方法得到, 位置关系的提取需要图元与图元之间进行对比分析和计算后得到。表2所列图元位置关系比较列。

表2 图元关系比较

图元号 \ 图元号	1	2	...	n-1	n
1	—	✓	✓	✓	✓
2	—	—	✓	✓	✓
...	—	—	—	✓	✓
n-1	—	—	—	—	✓
n	—	—	—	—	—

其中,—代表不比较, ✓表示比较, 这样能够保证每个图形之间都进行了比较, 而且没有重复, 提高了计算的效率。

3 图形形状描述

从上面的结构可以看出, 不同的图形通常具有不同的结构特征, 但是也不能将结构特征作为图形识别的第一凭证。相同结构的图形可能会具有不同的形状, 因此需要引入形状特征的概念。在本文中, 图形的形状是图形识别的一个重要因素。具有相同结构不同形状的图形可以有无穷多种。如图4(a)、(b)两个图形, 虽然结构相同, 但形状不相同。因此, 本节需要对图形的形状进行定量的描述。

Fourier 形状描述法^[9]是最经典的描述法。Fourier 描述法具有平移、旋转和缩放不变性。鉴于此, 本文采用 Fourier 描述法对形状进行描述。

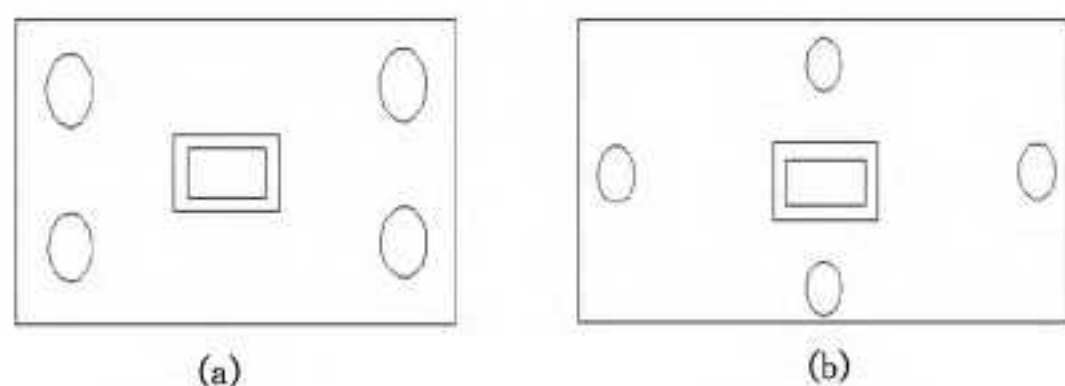


图4 同结构相同形状不同图形

3.1 质心距离形状描述子

在进行了图元采样点之后, 可以通过一定方法对其形状进行描述, 即生成形状描述子。目前有多种形状描述子, 包括

曲率、累积角度、质心距离、复数坐标等^[10-12]。本文采用质心距离对形状进行描述。质心距离是以采样点到图形质心的距离^[13]来表示的, 其数学公式如下:

$$R_i = \sqrt{(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2} \quad (1)$$

其中, (x_c, y_c) 为图形质心坐标, (x_i, y_i) 为图形的采样点坐标, 质心坐标计算公式如下:

$$x_c = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_i, y_c = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} y_i \quad (2)$$

其中, N 为整个图形采样点个数, 计算每个采样点的 R_i 可以得到图元的质心描述子 $R = (R_0, R_1, \dots, R_{N-1})$ 。显然质心描述子是满足平移不变性的。在绘制草图的过程中图形可能大、可能小, 也可能旋转, 因此图形还应该满足旋转和缩放不变性。所以, 质心描述子不能直接用于图形的形状描述。

3.2 傅里叶描述子

在图形形状识别当中, 形状描述应该满足平移、旋转、缩放不变性。由于质心描述本身满足平移不变性, 其相应的傅里叶变换也满足平移不变性, 再做相应处理可以满足缩放和旋转不变性。下面进行离散傅里叶变换^[13]:

$$Z_n = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} R_i e^{-j \frac{2\pi n i}{N}}, n=0, \dots, N-1 \quad (3)$$

其中, $n=0, \dots, N-1$, 式(3)称为傅里叶描述, 表示为 $FD = (FD_0, FD_1, \dots, FD_n, \dots, FD_{N-1})$ 。FD 具有旋转不变性, 由式(3)可知当 $n=0$ 时, $Z_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} R_i$, 即 FD_0 实际为 R_i 的算术平均值。其大小由图形的大小决定, 因此 FD_0 也称为直流成分, 将 FD 中的向量同除以 FD_0 , 得到的 FD' 就具有旋转、缩放和平移不变性。其描述向量为:

$$f = \left[\frac{|FD_1|}{FD_0}, \frac{|FD_2|}{FD_0}, \dots, \frac{|FD_{N-1}|}{FD_0} \right]$$

上述傅里叶描述子是最终的图元描述符。

3.3 图形形状相似度计算

图形的形状很大程度是由图形的形状相似度决定的, 本系统对于每个图元进行了 20 个点的采样, 并产生了 20 个特征向量。以下是图形的形状相似度计算方法。

假设 S_i, S_j 分别为两个图形, $Q = \{q_0, q_1, \dots, q_{N-1}\}, T = \{t_0, t_1, \dots, t_{N-1}\}$ 分别为 S_i, S_j 对应的特征向量。由 Q, T 可以计算出两者之间的欧氏距离^[13]:

$$Dis_{shap}(Q, T) = \left(\sum_{i=0}^{N-1} (q_i - t_i)^2 \right)^{1/2} \quad (4)$$

显然 $Dis_{shap}(Q, T) \in [0, \sqrt{N}]$, $Dis_{shap}(Q, T)$ 越小, S_i, S_j 越相似; $Dis_{shap}(Q, T)$ 越大, S_i, S_j 越不相似; 当 $Dis_{shap}(Q, T) = 0$ 时, 两图形完全一样; 当 $Dis_{shap}(Q, T)$ 大于某一值时则可认为两图形完全不相似^[13]。图形形状相似度计算公式如下:

$$Sim_{shap}(S_i, S_j) = \begin{cases} 0, & \text{if } Dis_{shap} \geq threshold_{shap} \\ 1 - \frac{Dis_{shap}}{threshold_{shap}}, & \text{if } Dis_{shap} < threshold_{shap} \end{cases} \quad (5)$$

4 系统实现及实验分析

本文实验系统是在 win8 环境下结合 visual studio 2012 的 MFC 可视化平台上开发的。图5为本实验系统的基本流程。图6所示为图元参数的储存, 其中笔划采样数据是用户

绘制的笔迹。首先将笔划识别为基本图元,再储存其特征数据以便在以后位置关系比较中使用。

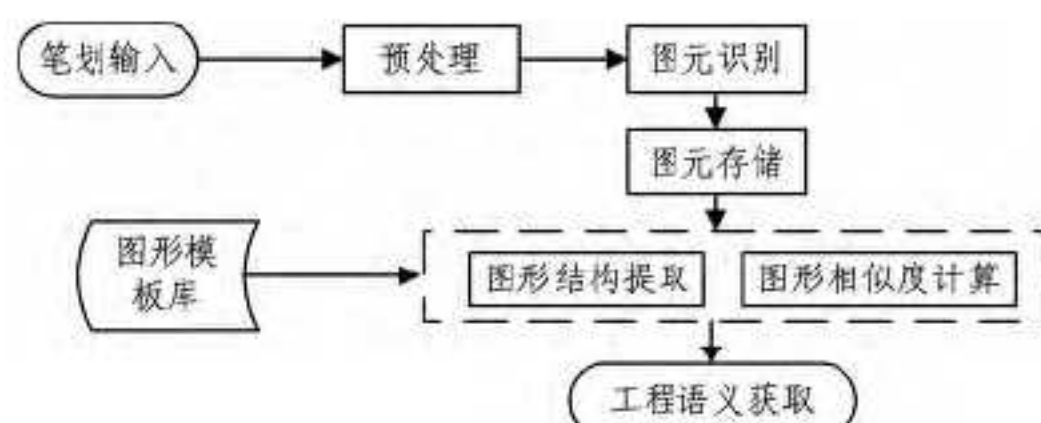


图5 实验系统基本流程

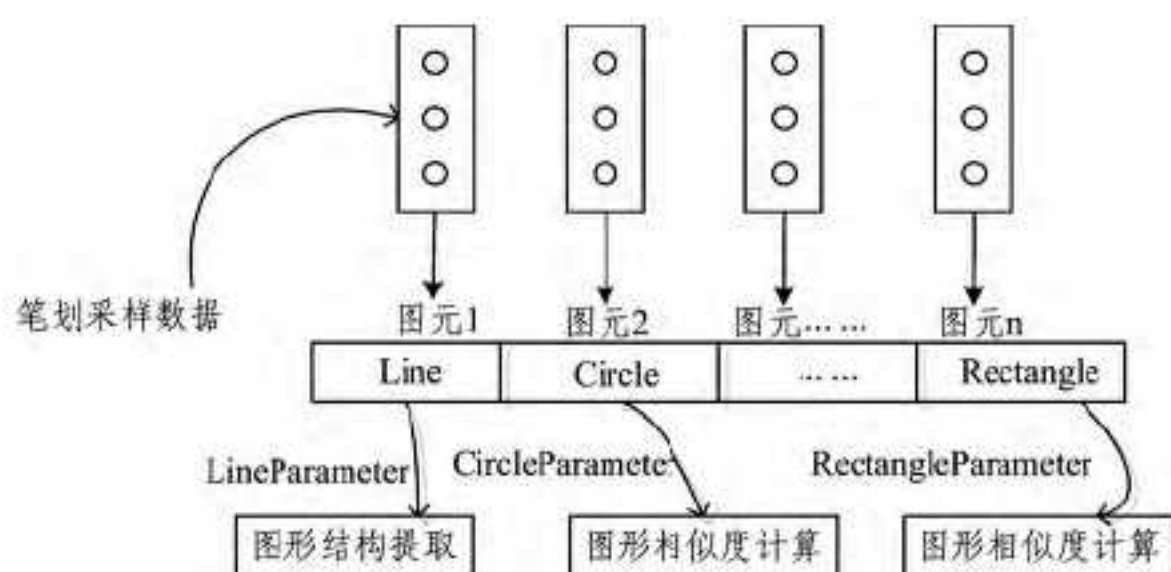


图6 图元参数储存结构

该实验分别对如图7所示的9种不同机械机构草图符号进行了识别,且这9种符号都是机械结构中常用的运动副符号。图8所示为本实验系统的界面,分别显示了对连杆转动副和机架转动副识别界面的结果。表3为部分实验结果的数据比较和统计。

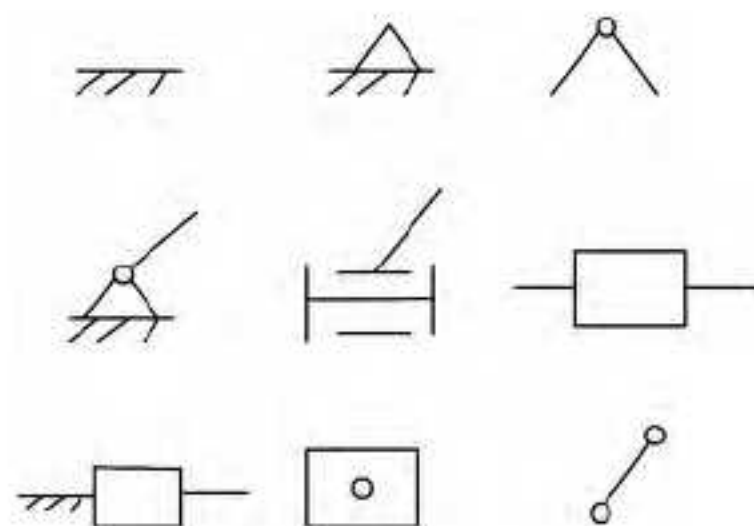


图7 样本实例



(a) 机架转动副结构特征提取



(b) 机架转动副识别结果

图8 实验系统结果

表3 实验结果

结构类型	标准图形	工程语义	输入图形	形状相似度
nStroke=3 nLine=2 nCircle=1 nLineCircle Intersects=2		连杆转动副		0.867
nStroke=4 nLine=4 nParaLine=3 nLineIntersects=3		机架		0.784
nStroke=3 nLine=2 nRectangle=1 nLineRectangle=2 nSameLine=1 nParaLine=1		滑块移动副		0.757
nStroke=7 nLine=6 nCircle=1 nLineCircle Intersects=2 nLineIntersects=5 nParaLine=3		机架转动副		0.694
nStroke=2 nRectangle=1 nLineRect Included=1		滑块		0.796
				0.633
				0.826
				0.708

结束语 本文将结构模式识别及图形形状描述理论应用在组合图形草图识别中,采用结构模式识别中的模板匹配方法对图形结构进行了描述,将实时绘制图形的结构特征提取出来,与标准图形结构做对比进行结构匹配。再利用形状特征的概念对相同结构不同形状的图形做进一步识别,计算形状相似度的大小作为最终识别结果,进行形状相似度计算的前提是图形结构相同。实验中将绘制的图形与相同结构的标准图形进行了形状的比较,计算出了相同结构不同形状图形的相似度。本文所采用方法的主要优点是图形抗干扰能力较强,并且满足平移、旋转、缩放的不变性,匹配速度快、识别准确率较高。但缺点在于,此方法只适用于图形模板库数量较小的系统,对于图形库数量较大的系统,由于结构特征需要人为去定义,因此需要花费大量时间,在后续的研究中将对这方面进行改进与提高。

参考文献

- [1] 韩红波. 基于手绘草图的三维建模方法研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2008
- [2] Forbus K D, Usher J. Sketching for knowledge capture: progress report[C]// Proceedings of the 7th International Conference on Intelligent User Interface. San Francisco, 2002: 71-77
- [3] 马嵩华. 捕捉设计意图的二维草图识别研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2012, 24(10): 1338-1345
- [4] 关立文, 黄洪钟, 等. 机械产品概念设计: 综述与展望[J]. 机械设计, 2001, 32(5): 378-381
- [5] 李雪峰. 基于手绘草图的工程图档检索技术[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2009
- [6] 常新立. 手绘几何图形的识别研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2009
- [7] Kazmi I K, You Li-hua, Zhang Jian-jun. A survey of 2D and 3D

Shape Descriptor[C]// 2013 10th International Conference Computer Graphics, Imaging and Visualization, 2013:1-2

- [8] 刘珠峰. 基于手绘草图的三维建模研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2010
- [9] 马翠霞. 概念设计中基于笔式手势的交互计算研究[J]. 软件学报, 2007, 17(4): 304-308
- [10] 杨海燕. 基于草图界面的设计方案复用研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2010, 21(4): 784-787
- [11] 巩应奎. 基于手势输入构造三维概念模型研究[J]. 计算机辅助

设计与图形学学报, 2008, 20(8): 1079-1083

- [12] Jayanti S, Lou Kui-yang. Three-dimensional shape searching: state-of-art review and future trends[C]// Purdue Research and Education Center for Information Systems in Engineering PRE-CISE, School of Mechanical Engineering, Purdue University, West Lafayette, IN 47907, USA, 2010: 300-305
- [13] Wang Feng, Lin Lan-fen. A new sketch-based 3D model retrieval approach by using global and local features[J]. Graphical Models, 2014, 76(3): 128-139

(上接第 117 页)

样本 2、样本 3, 部分匹配结果如图 4 所示。

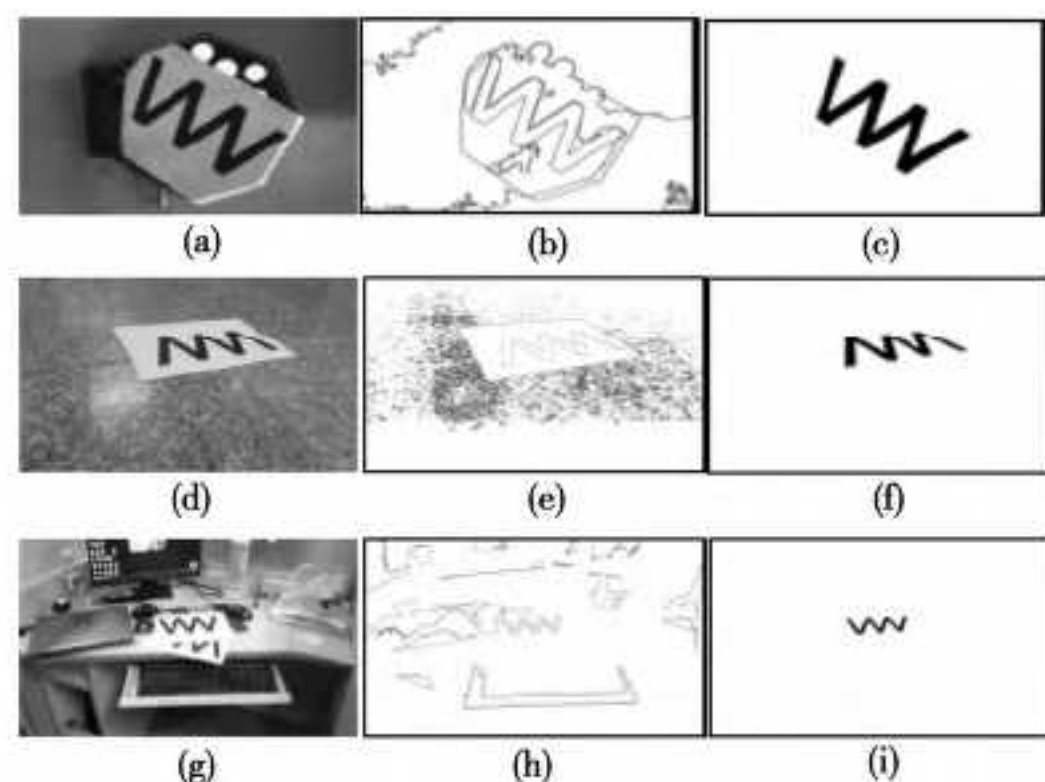


图 4 图像总像素不变, W 型轮廓匹配部分结果图

图 4(a)为 W 型标靶的常用场景, 图 4(d)为多边形干扰样本, 图 4(g)为复杂背景小型标靶样本。可以看出, 图 4(a)、图 4(d)、图 4(g)中 W 型轮廓的占比越来越小, 而这并没有影响算法检测的准确性。

本文方法和成对几何直方图方法的匹配率与匹配平均时间如表 1、表 2 所列。

表 1 不同轮廓检测方法的检测结果

检测方法	样本 1(%)	样本 2(%)	样本 3(%)	总检测率(%)
PGH	0.99	0.50	≈0	0.50
本文方法	0.96	0.99	0.82	0.93

表 2 不同轮廓检测方法的检测结果

	样本 1(s)	样本 2(s)	样本 3(s)
PGH 检测时间	2.01	2.02	9.96
本文方法检测时间	0.09	0.09	0.11

匹配结果显示, PGH 受外界图形的干扰较大, 对模糊的样本检测率也较为低下。本文的检测方法对 W 型标靶的总的检测率在 93% 以上, 且检测方法可行高效, 具有很好的适应性。

实验 2: 利用该算法进行某行政版图的匹配。具体做法是采集 100 张类似版图及其经旋转、平移、放缩变换后的图像进行逐一匹配, 并进行相似度的比较。

匹配结果是相似度由高到低的排序, 如图 5 所示。其中图 5(a)是模板图像, 其他为部分匹配结果, 图像按相似度大小依次排列。

从图 5 可以看出, 利用新的相似度度量方法对轮廓的相似度度量有一定的特点: 图 5(b)、图 5(c)、图 5(e)、图 5(g) 轮廓的相似度排序显示, 轮廓的相似度与目标图像的旋转、放缩有一定的联系; 图 5(d)和图 5(e)、图 5(f)和图 5(g) 的相似度

比较结果显示, 具有正确细小特征的轮廓相似度也较高, 但其对轮廓的相似度影响并不明显, 例如图 5(e) 的相似度仅次于图 5(d), 图 5(g) 仅次于图 5(f)。

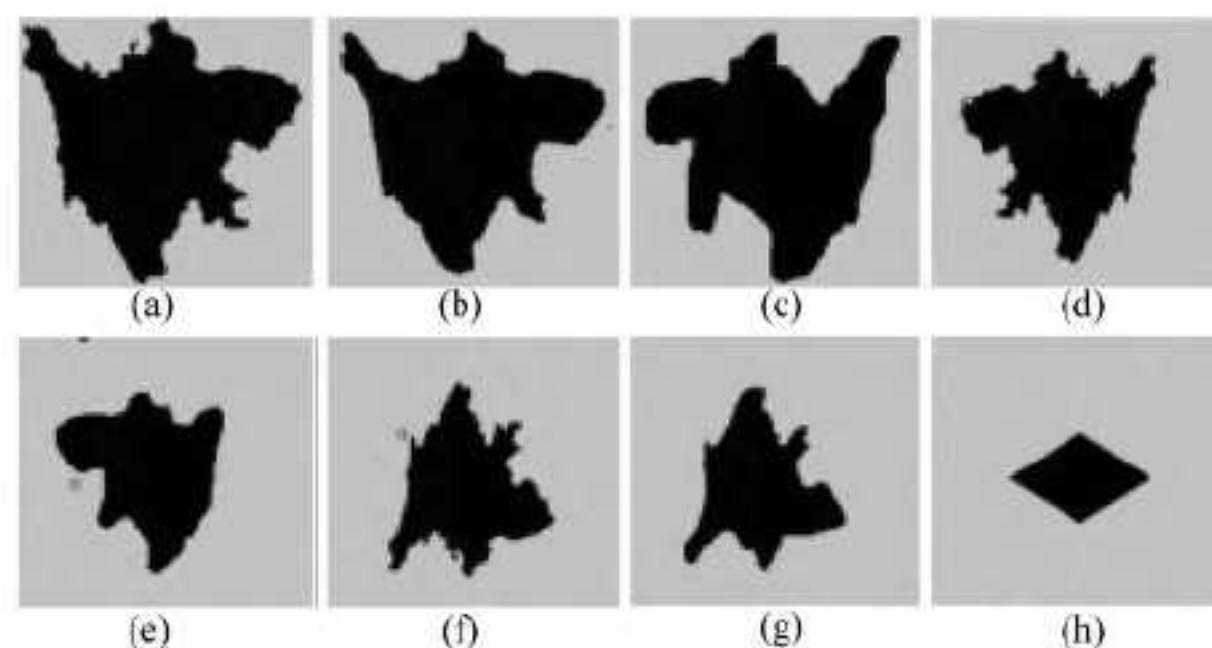


图 5 某行政版图匹配的部分结果

实验二的结果证明新的轮廓匹配算法具有一定的抗干扰能力, 对一般轮廓的匹配也具有普适性。

结束语 使用本方法进行 W 型目标轮廓的查找, 检测准确率高, 达到了 93%, 其与图像是否受外界干扰、是否模糊等关系不大, 同时又具有一定的普适性。该方法用于四轮定位系统, 可以缩短四轮定位的定位时间, 同时无需红外摄像头, 节省了系统成本, 降低了复杂度。在图像背景复杂并需要进行快速轮廓匹配的情况下, 本文算法也非常有效。本文方法不适用于目标轮廓受到遮挡的情况。

参考文献

- [1] 丁险峰, 吴洪, 张宏江, 等. 形状匹配综述[J]. 自动化学报, 2001, 27(5): 678-693
- [2] 张京明, 张宇晗, 等. 基于不变矩和灰度匹配的汽车跟踪算法[J]. 农业装备与车辆工程, 2015, 53(6): 13-15
- [3] Li L. Building an accurate 3D model of a circular feature for robot vision[J]. Opto-Electronics Review, 2012, 20(2): 120-125
- [4] Chu Jun, Zheng An, Lu Guo, et al. Chessboard corner detection under Image physical coordinate[J]. Optics and Laser Technology, 2013, 48: 599-605
- [5] 朱科铃, 卢章平. 基于极坐标和傅里叶描述子的二值商标图像检索[J]. 农业机械学报, 2006, 37(11): 100-121
- [6] 范春年, 傅德胜. 一种改进的二维傅里叶描述子在基于形状的图像检索中的应用[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2004, 28(2): 266-269
- [7] 罗磊. 基于轮廓的形状匹配方法研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2008
- [8] Kim H K, Kim J D. Region-based shape descriptor invariant to rotation scale and translation[J]. Signal Processing: Image Communication, 2000, 16(1/2): 87-93