

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.08.002

一种基于图元结构关系的电气草图符号识别方法*

陈晓杰¹, 方贵盛^{2*}

(1. 浙江大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310027; 2. 浙江水利水电学院 机械与汽车工程学院, 浙江 杭州 310018)

摘要:针对手绘草图符号不规则以及模糊的特点造成对其识别难度较高的问题, 对手绘电气草图符号的特点、符号的笔划分割、图元类型的判别、图元间的结构关系、符号间相似度的类型等方面进行了研究, 提出了一种基于图元结构关系的手绘电气草图符号识别方法。根据手绘电气草图符号的特点, 首先对手绘电气草图符号进行了笔画分割, 将其分解成了若干基本图元; 然后用属性关系图描述出了手绘电气草图符号单个图元的信息以及图元间的结构关系, 提出了一种基于属性关系图的电气草图符号匹配相似度计算方法; 最后通过计算待识别符号与模板库符号之间的相似度, 达到了手绘电气草图符号识别的目的。研究表明: 可以构建一个有效的、可训练的、多线条的符号识别器, 并且不受符号方向、大小和笔画顺序的影响, 能够取得良好的识别效果。

关键词: 电气草图符号识别; 图元; 笔画分割; 属性关系图

中图分类号: TH164; TP391

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2017)08-0823-07

Recognition method for hand-drawn electronic symbols based on structural relationship between primitives

CHEN Xiao-jie¹, FANG Gui-sheng²

(1. School of Mechanical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China; 2. School of Mechanical and Automotive Engineering, Zhejiang University of Water Resources and Electric Power, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aimirg at the problem of difficult to recognize and understand the hand-drawn symbols, because of irregular and fuzzy, the features of hand-drawn electrical symbols, stroke segmentation of the symbols, the identification of the primitive type, structural relations between primitives, the types of the similarity between symbols and other aspects were studied, and a new recognition method for hand-drawn electrical symbols based on structural relationship between primitives was proposed. First of all, hand-drawn electrical symbols were segmented into several primitives based on their characteristics. Then attributed relational graph was used to describe the attribution of the primitives and the structural relationship between primitives in hand-drawn electrical symbols. And a method for calculating the similarity of hand-drawn electrical symbols matching based on attributed relational graph was proposed. Finally, through calculating the similarity between the unknown symbol and the symbol in template library, the unknown hand-drawn electrical symbol was recognized successfully. The results indicate that the proposed method can be used to construct an effective, trainable, multiline character recognizer, which is not affected by the direction, the size and the drawing order of the symbol.

Key words: hand-drawn electrical symbols recognition; primitive; stroke segmentation; attributed relational graph

0 引言

随着概念设计在现代设计中起到越来越重要的作

用, 作为概念设计重要方式的手绘草图越来越受到重视。而随着触屏设备的普及, 手绘草图的应用也越来越广泛, 同时也对草图识别技术提出了越来越高的要

收稿日期: 2016-12-05

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目(LY13F020032)

作者简介: 陈晓杰(1990-), 男, 安徽淮南人, 硕士研究生, 主要从事计算机图形学、图像识别方面的研究. E-mail: 21525096@zju.edu.cn

通信联系人: 方贵盛, 男, 博士, 教授, 硕士生导师. E-mail: 187238143@qq.com

求。手绘草图符号作为用户思维和概念的自由表达,具有不规则和模糊的特点。如何消除这种不规则和模糊的干扰,正确识别用户的设计意图,成为草图符号识别的关键。

针对上述问题,研究人员从不同方面做了深入研究,提出了不同的方法。Rubine^[1]提出了一种基于特征向量的手势识别方法,该算法通过一组特定的笔画特征构成的特征向量来描述笔画,对笔手势具有良好的识别效果,其缺点是仅局限于单笔画线条;Tirkaz等^[2]构建了一个包含各类草图符号各种可能的部分输入状态的草图符号模板,通过待识别草图符号与模板草图符号间的匹配,实现了部分草图符号的识别;Ouyang等^[3]将草图分解成多个方向的子图,然后对每幅方向子图进行平滑、降采样处理生成一个特征图像,最后该特征图像模型与模板图像进行匹配;姜映映等^[4]采用与训练样本相关的分类器组合策略,提出一个基于模板匹配方法和 SVM 统计分类方法的手绘草图符号自适应识别方法,能够同时支持小样本和大样本的学习,而且同时利用了在线和离线信息;Almazan等^[5]提出一种描述和识别非刚体形状模型,该模型的核心是 BSM(blurred shape model)^[6],一种基于图像局部区域像素密度概率的形状描述符;赵鹏等^[7]提出了一种基于深度学习的手绘草图识别方法,该算法利用大尺寸的首层卷积核来获取手绘草图的空间结构信息,深层模型的初始化参数通过训练浅层模型获取,减少了训练时间,加快了收敛速度;吴玲达等^[8]提出一个面向手绘军标图形的旋转自由识别方法,该方法的目标是识别图形类别和方向角,首先通过旋转不变的粗分类使得候选类别范围缩小,然后通过估计待识别图形与模板图形之间的方向夹角,将二者旋转对齐,最后使用细化区分方法实现高相似度图形类别的识别。

针对电气草图符号,王国余等^[9]提出了一种基于神经网络的电气元件符号识别算法,该方法通过模板匹配方式抽取电气符号特征信息,进而得到可识别的图形信息,从而实现电气符号的识别;周建新等^[10]提出了一种特定输入方式下的手绘电气符号识别新方法,首次采用智能像卡作为手绘电路图图形输入设备,提出了一种称为扩展网格比较特征提取法来提取手绘电气元件符号的特征,构造三层 BP 神经网络作为识别器,实现了手绘电气符号的脱机识别。

上述方法在各自方面都取得了较好的识别效果,但又存在着各自的不足:(1)有些方法局限于按预定方向画的单线条笔画形状;(2)有些方法仅考虑笔画的聚类属性,无法区分具有相似聚类属性的不相似笔画形状;(3)有些方法要求以一个固定的笔画线条顺序绘制草图形状;(4)有些方法不具有旋转不变性,受草图符号绘制方向的影响较大。

针对上述问题,本研究提出一种基于图元结构关系的属性关系图(ARG)草图符号表达方法^[11]。基于属性关系图,笔者提出 7 种草图识别匹配类型,进而给出手绘草图符号匹配相似度的计算方法,通过计算待识别符号与模板库符号之间的相似度,最终实现草图符号识别的目的。

1 前处理

1.1 图元定义

本研究提出的方法属于基于结构的草图识别方法,结构方法关注草图的空间构成,关键概念是图元。分解笔画图元能实现草图的唯一性表示,这种表示方式使得草图识别不受笔画数量和笔画绘制顺序的影响。在结构化识别方法中,草图的基本组成单元就是图元。根据电气符号的构成特点,本研究定义直线和圆弧两种基本图元。

1.2 笔画分割

本研究将图元分为直线和圆弧两类。笔画分割的目的就是将由一个或多个图元组成的草图符号分割成一个或多个图元。本研究采用 Xiong 等^[12]提出的 IS-traw 算法,该算法是基于 ShortStraw 算法^[13]的一种改进算法。该算法利用笔画的速度信息发现笔画角点实现笔画分割,其优点是易于实现且计算速度快,正确率高。其步骤如下:

- (1)对输入的笔画重采样,使得笔画上重采样后的点等间隔分布;
- (2)计算重采样后每个点 p_i 的特征值 $straws$,其计算公式如下:

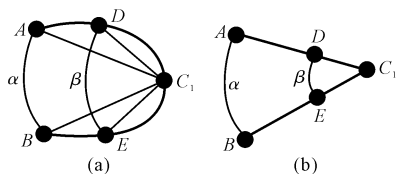
$$straws_i = |p_{i-w}, p_{i+w}| \quad (1)$$

式中: w —窗口大小,其值设置为 3,表示 p_{i-w} 和 p_{i+w} 两点之间的欧氏距离。

- (3)由各点的 $straws$ 特征值获得一个初始角点集合,该点集包含两类: $straws$ 特征值局部最小点;笔速局部最小且大于某阈值的点。

(4)剔除错误角点,方法如下:在图 1(a)和图 1(b)中, A, D, C_i, E, B 分别是各自曲线上 5 个连续的重采样点,其中 C_i 为初始角点。 α 是离点 C 较远的两点 A, B 和点 C 形成的以点 C 为顶点的夹角, β 是较近的 D, E 两点和点 C 形成的以点 C 为顶点的夹角。若点 C 是错误角点,如图 1(a)所示,则 α 和 β 相差较大;若 C 是弧上的正确角点,如图 1(b)所示,则 α 和 β 的角度值相差较小。IS-traw 算法同时考虑到笔画的长度、时间信息,利用了与笔画长度、笔速有关的动态阈值,能够快速、准确地识别角点,实现笔画的分割。

示意图如图 1 所示。



(a) 错误角点 (b) 正确角点

图 1 错误角点和正确角点 α 和 β 示意图

1.3 图元类型判别

在草图中,直线段、圆弧等都是由设计人员通过触屏交互设备自由绘制的,在这种情况下,这些曲线具有很大的不规则性和模糊性。通过曲线绘制方向与时间之间的关系^[14-15],能够建立起笔画角度与弧长之间的关系图^[16],从而实现图元类别的判断。本研究将图元分为两类:直线和圆弧,并通过上述方法实现笔画分割出来的图元类别的判断。

规则的直线段和圆,其各自的角度与弧长关系表现为不同的曲线形式,图元角度和弧长关系图如图 2 所示。

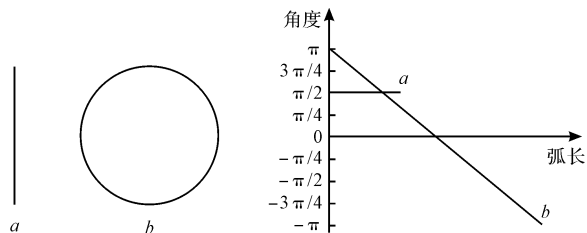


图 2 图元角度和弧长关系图

图 2 中,对于垂直直线 a ,随着其长度的增加,其角度保持 90° 不变,所以对于角度相对于弧长保持不断的曲线,可以推断出其对应于直线;而相对于圆弧,随着弧长,其角度在线性变化,可以推断出这类曲线表示的是圆弧。不同的用户具有不同的手绘习惯,以及手绘草图自身的模糊性,前述方法建立起来的角 - 弧长关系图就不可能非常精确,但是,本研究通过对关系曲线进行定性分析便可判断出图元类别。因此,这种不精确性并不会对判断结果产生较大的影响。

2 符号识别

2.1 图元关系定义

本研究使用了一种改进的属性关系图(ARG)来描述草图符号中图元的几何特性和图元间的拓扑关系。在改进的属性关系图中,节点代表图元,节点间的连线描述图元之间的几何关系。

节点用图元的几何特性来描述,包括图元的类型(直线或圆弧)和图元的几何尺寸,直线的几何尺寸用其相对长度(即其像素长度占组成该草图符号所有图元像素长度总和的比例,其中,圆弧的像素长度用其像素弧长表示),圆弧的几何尺寸用其相对半径(即其像素

半径占有所有图元像素长度总和的比例)和圆弧角表示。

节点间的连线表示图元间的几何关系,包括位置关系的平行、相交、包含关系以及相交关系的交点数量、交点位置、交角等。本研究使用三位二进制表示图元间的位置关系,最高位表示平行关系,若两图元均为直线且平行或均为圆弧且是同心圆,则最高位为 1,否则为 0;中间位表示相交关系,两图元相交则该位为 1,否则为 0;最低位表示包含关系,若两图元包含一个封闭图元,且另一图元包含在该封闭图元内,则满足包含关系,该位为 1,否则为 0。然后将该三位二进制数用十进制表示。如“5”的二进制形式为 101,表示两图元满足平行和包含关系,但不相交,可以判断这两个图元为同心圆。交点位置用交点分别在两图元中的相对位置百分数表示。若两图元中存在圆弧,则交角为圆弧在该点的切线与另一图元的交角。关系图如图 3 所示(图 3 展示了一个用属性关系图表示符号的例子)。

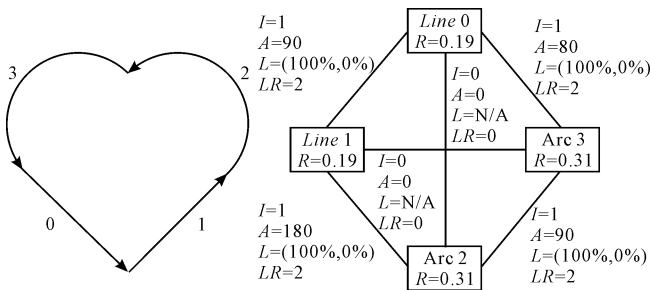


图 3 图元空间结构属性关系图

注: R —图元的相对长度; I —图元间交点数量; A —图元交角; L —图元间交点位置; LR —图元之间的位置关系

2.2 基于图元关系的图元相似度计算

待识别符号和已知模板符号之间的相似度衡量是符号识别的关键问题。基于 2.1 节的属性关系图本研究建立了相似度计算模型,待识别符号 U 和模板 D 之间的相似度如下:

$$Similarity(U, D) = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^7 S_i \quad (2)$$

式中: S_i —第 i 种匹配类型的相似度,其取值范围为 $[0, 1]$ 。

本研究共定义了 7 种匹配类型,即图元数目、图元类型、图元相对长度、图元交点数目、图元交角、图元交点位置以及图元位置关系。

2.2.1 图元数目相似度计算

不同类型的符号之间的图元数目可能不同,由于笔画分割存在误差,也可能造成待识别符号与模板符号之间的笔画数目不同,待识别符号与模板符号之间图元数目的相似度如下:

$$S_1 = 1 - \min \left\{ 1.0, \frac{|N_U - N_D|}{N_{\min}} \right\} \quad (3)$$

式中: N_U, N_D —待识别符号和模板符号图元的数量;

$N_{\min} - N_U$ 和 N_D 中较小的值。

2.2.2 图元类型相似度计算

图元类型相似度描述待识别符号和模板符号之间各个对应位置的图元类型匹配程度,其值计算如下:

$$S_2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N_{\min}} [1 - \delta(\text{Type}(U_i), \text{Type}(D_i))] }{N_{\min}} \quad (4)$$

式中: U_i, D_i —待识别符号和模板符号的第 i 个图元; $\text{Type}(X)$ —返回图元 X 的类型,若 X 为圆弧,返回 0,若 X 为直线,则返回 1;对于函数 $\delta(p, q)$,当 $p = q$ 时,其值为 1,否则为 0。

2.2.3 图元相对长度相似度计算

图元相对长度相似度描述待识别符号和模板符号各个对应位置的图元相对长度的匹配程度,其值计算如下所示:

$$S_3 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N_{\min}} E_i^R}{N_{\min}} \quad (5)$$

$$E_i^R = \min \left\{ 1, 0, \frac{|R(U_i) - R(D_i)|}{R(D_i)} \right\} \quad (6)$$

式中: $R(X)$ —图元 X 的相对长度; U_i, D_i —待识别符号和模板符号的第 i 个图元; E_i^R —图元 U_i 和 D_i 之间相对长度的误差度。

2.2.4 图元交点数目相似度计算

图元交点数目相似度描述待识别符号和模板符号各个对应位置的一对图元交点数目的匹配程度,其值如下所示:

$$S_4 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N_{\min}-1} \sum_{j=i+1}^{N_{\min}} E_{ij}^I}{\min\{M_U, M_D\}} \quad (7)$$

$$E_{ij}^I = \begin{cases} 1.0, & I(D_i, D_j) = 0 \\ \min\{1.0, \frac{|I(U_i, U_j) - I(D_i, D_j)|}{I(D_i, D_j)}\}, & I(D_i, D_j) \neq 0 \end{cases} \quad (8)$$

式中: $I(X, Y)$ —图元 X 和 Y 之间交点的数量; M_U, M_D —待识别符号和模板符号属性关系图中图元间连线的数量; E_{ij}^I —待识别符号第 i 和第 j 个图元间交点数量与模板符号对应图元间交点数量的误差度。

2.2.5 图元交角相似度计算

图元交角相似度描述待识别符号和模板符号各个对应位置的图元交点数目的匹配程度,其值如下所示:

$$S_5 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N_{\min}-1} \sum_{j=i+1}^{N_{\min}} E_{ij}^A}{\min\{M_U, M_D\}} \quad (9)$$

$$E_{ij}^A = \min \left\{ 1, 0, \frac{|A(U_i, U_j) - A(D_i, D_j)|}{A(D_i, D_j)} \right\} \quad (10)$$

式中: $A(X, Y)$ —图元 X 和 Y 之间交角角度值,其取值

已在 2.1 节中阐述; E_{ij}^A —待识别符号第 i 和第 j 个图元间交角与模板符号中对应图元间交角的误差度。

2.2.6 图元交点位置相似度计算

图元交点位置相似度描述待识别符号和模板符号各个对应位置的图元交点位置的匹配程度,其值如下所示:

$$S_6 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N_{\min}-1} \sum_{j=i+1}^{N_{\min}} E_{ij}^L}{\min\{M_U, M_D\}} \quad (11)$$

$$E_{ij}^L = \frac{(|L_i^U - L_i^D| + |L_j^U - L_j^D|)}{2} \quad (12)$$

式中: (L_i^X, L_j^X) —符号 X 中第 i 和第 j 个图元交点位置坐标,该坐标表示方法已在 2.1 节中阐述; E_{ij}^L —待识别符号第 i 和第 j 个图元间交点位置与模板符号对应图元间交点位置的误差度。

2.2.7 图元位置关系相似度计算

图元交点位置相似度描述待识别符号和模板符号各个对应位置的图元交点数目的匹配程度,其值如下所示:

$$S_7 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N_{\min}-1} \sum_{j=i+1}^{N_{\min}} E_{ij}^{LR}}{\min\{M_U, M_D\}} \quad (13)$$

$$E_{ij}^{LR} = \begin{cases} 0, & \text{if } LR_{ij}^U = LR_{ij}^D \\ 1, & \text{if } LR_{ij}^U \neq LR_{ij}^D \end{cases} \quad (14)$$

式中: LR_{ij}^X —符号 X 中第 i 和第 j 个图元所满足的位置关系,其取值已在 2.1 节中阐述; E_{ij}^{LR} —待识别符号第 i 和第 j 个图元间位置关系与模板符号中对应图元间位置关系的误差度。

2.3 图元最优对应关系的获取

前面两节表述了如何用图元属性关系图表示符号,并进一步说明了如何计算待识别符号和模板符号之间的相似度。其中,相似度计算中涉及的多个匹配度计算需要确定待识别符号和模板符号之间的对应关系。本节阐述如何正确获取待识别符号和模板符号之间的最优对应关系。

如果用户每次在绘制同一种草图符号时,笔画绘制的顺序都是固定的,这种对应关系就很容易获取。但在实际中,为了提高用户绘图的自由度,往往对笔画绘制顺序不作限制。本研究采用一种结合穷举法和随机搜索算法的混合匹配算法。穷举法,即列出所有可能的对应关系,然后分别计算每一种对应关系下的相似度,取最大相似度作为待识别符号和模板符号之间的相似度;随机搜索算法,即在未达到最大迭代步数的情况下,随机获取下一组对应关系,然后计算其相似度,若大于当前相似度则置为当前相似度,否则继续。该算法中的初始对应关系按照笔画绘制顺序获取。其具体匹配流程如图 4 所示。

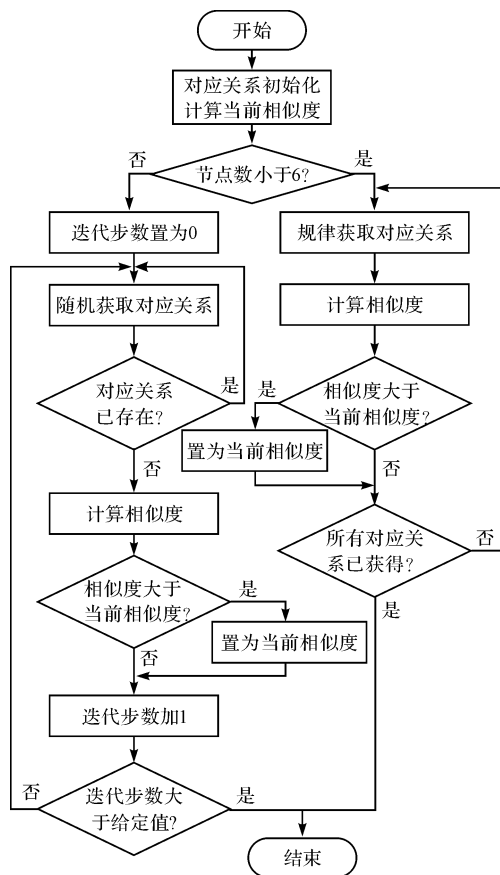


图 4 混合算法获取对应关系流程图

对于待识别符号与模板符号图元数目不一致的情况,用空节点对图元数目较少的符号进行填充,这样就保证了对应关系的一致性。本研究将待识别符号与通过训练获得的样本库中的每个样本进行相似度计算,将相似度最大的样本符号作为识别结果。

3 实验与结果分析

本研究对一组常用的电路符号集进行了手绘草图符号识别实验。该电路符号集包含 24 种常用电路符号,手绘草图符号通过平板电脑采集,所用的识别设备为戴尔 OptiPlex 790 Mini Tower,处理器为酷睿 i5-2400,内存 4GB,操作系统为 windows 7。样本如图 5 所示。

3.1 实验一:自由绘制草图符号

实验中,邀请 10 名志愿者参与图形样本的采集。实验要求每名志愿者对图 5 所示的 24 种电气符号进行自由绘制,并且在合理范围内要求每名志愿者集中注意力对每个电气符号各绘制一个实例。考虑到在实际手绘中这些图形的可变异程度大,在采集数据时使各样本在图形定义所允许的范围内尽量呈现不同的形态,最终共获得 24 × 10 个手绘电气符号样本。

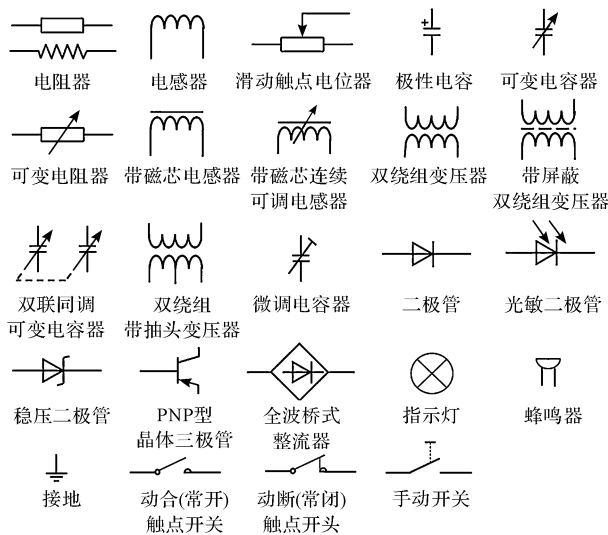


图 5 实验电气符号样本

本研究从每种手绘电气符号中选择 3 个较工整的样本,组成 3 个规模为 24 的样本库,分别对这 3 个样本库中的手绘电气符号建立属性关系图,并训练形成 3 个模板库,其余草图符号作为测试样本。识别率和识别时间实验结果如表 1 所示。

表 1 实验手绘电气符号识别率及识别耗时

电气符号名称	识别率/(%)	耗时/ms
电阻器	93.1	16.0
电感器	92.7	18.7
滑动触点电位器	92.5	26.3
极性电容	94.6	10.4
可变电容器	92.3	28.9
可变电阻器	91.8	33.2
带磁芯电感器	91.6	30.4
带磁芯连续可调电感器	89.7	34.7
双绕组变压器	91.3	29.7
带屏蔽双绕组变压器	90.8	35.3
双联同调可变电容器	90.2	39.7
双绕组带抽头变压器	90.1	37.6
微调电容器	93.9	24.3
二极管	94.6	20.6
光敏二极管	91.7	30.2
稳压二极管	93.2	23.0
PNP 型晶体三极管	92.1	32.1
全波桥式整流器	93.6	28.8
指示灯	97.3	8.2
蜂鸣器	96.7	10.0
接地	96.9	6.0
动合(常开)触点开关	95.2	17.5
动断(常闭)触点开关	94.7	19.3
手动开关	94.3	17.1

从表 1 识别结果可以看出,本研究的方法对常用电气符号的识别率保持在 89% 以上,其中,对指示灯的识别率最高,达到 97.3%。由此可见,本研究方法

具有较好的识别效果。

实验中,识别正确率较低的电气符号主要集中在带箭头的电气符号中。因为本研究方法中基本图元仅划分为两类:直线和圆弧,未能很好的描述出带箭头电气符号,这可能是导致其识别率较低的主要原因。

由表 1 的识别结果可以看出,本研究方法对结构简单的电气符号具有较快的识别速度,随着电气符号图元数目的增加,识别时间在增多,对带有箭头的草图符号的识别时间普遍比较多,接下来可针对该问题进行进一步的优化。

3.2 实验二:改变草图符号绘制顺序

本研究再次要求 10 名志愿者分别以 5 种给定的顺序对图 5 所示的电气符号进行自由绘制,相同绘制顺序的每名志愿者绘制的草图符号形成一个样本库,最终获得 5 个规模为 24×10 的测试样本库,仍然用实验一获得的模板库对该样本库进行测试。

将绘制顺序最符合绘制习惯的测试样本库编号为 1,其他测试样本库根据其相对 1 号样本库绘制顺序变化的多少,由少至多依次编为 2 号,3 号,4 号,5 号。分别使用本研究方法和文献[17]的方法,对这 5 个样本库进行测试,结果分别取各个样本库中每种图形符号 Top-N 识别率的平均值。实验结果如图 6、图 7 所示。

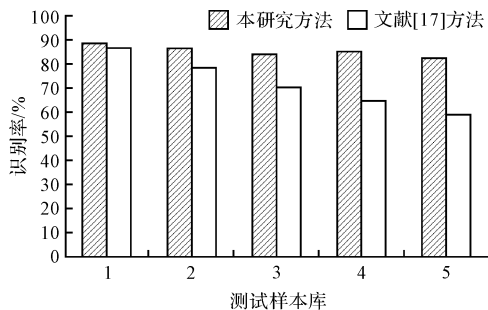


图 6 实验二 Top-1 识别结果

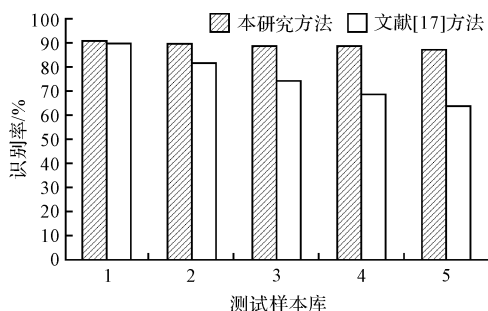


图 7 实验二 Top-3 识别结果

从图 6 和图 7 中的识别结果可以看出,当绘制草图符号顺序改变时,本研究方法的识别率始终保持在 90% 左右,文献[17]的方法随着绘制顺序的改变,其识别率由 90% 降低到 64%。由此可见,本研究方法不受绘图顺序的影响,具有较好的鲁棒性。

4 结束语

本研究针对手绘电气草图符号的特点提出了一种基于改进的属性关系图的图元结构化识别方案,通过对草图符号进行笔画分割,并提出一种基于图元结构关系的草图符号描述方法,实现了对图形类别的识别,实验结果验证了本研究方法的有效性。其主要特点如下:

(1) 提出了一种基于改进的属性关系图的草图符号图元结构化描述方法,通过该属性关系图详细描述了草图符号基本图元的属性信息以及各个图元之间空间结构关系;

(2) 提出了一种包含 7 种符号匹配相似度的符号相似度计算方法,可以计算出待识别符号和模板符号之间的相似度,进而实现手绘草图符号的识别;

(3) 提出了一种基于穷举法和随机搜索法的符号图元最优对应关系获取方法。

本研究方法的优点是:具有旋转不变性,不受笔画绘制顺序的影响,具有较好的鲁棒性。但是,本研究方法也存在一些缺点:(1) 对笔画分割结果敏感,这是结构化识别方法所共有的缺点;(2) 随着图形复杂程度的增加,识别率明显降低,识别时间显著提高。(3) 针对提出的其中相似度,本研究并未考虑其权重关系。实际上,不同种类的相似度对识别结果的影响是不同的。接下来,笔者将针对以上问题做进一步研究,并对本研究算法作进一步的优化。

参考文献 (References):

- [1] RUBINE D. Specifying gestures by example[J]. *Computer Graphics*, 1991, 25(4): 329-337.
- [2] TIRKAZ C, YANIKOGLU B, SEZGIN T M. Sketched symbol recognition with auto-completion[J]. *Pattern Recognition*, 2012, 45(11): 3926-3937.
- [3] OUYANG T, DAVIS R. A visual approach to sketched symbol recognition [C]. Proc. of the 21th International Joint Conference on Artificial Intelligence, San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2009.

(下转第 850 页)

本文引用格式:

陈晓杰,方贵盛.一种基于图元结构关系的电气草图符号识别方法[J].机电工程,2017,34(8):823-828,850.

CHEN Xiao-jie, FANG Gui-sheng. Recognition method for hand-drawn electronic symbols based on structural relationship between primitives[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2017, 34(8): 823-828, 850.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>