

文章编号:1006-0871(2007)01-0029-05

# 基于几何特征的在线手绘流程图识别

张小亮, 孙根正, 廖达雄, 王淑侠

(西北工业大学机电学院, 西安 710072)

**摘要:** 为减少绘图设计软件繁琐的操作步骤, 提出基于图元几何特征的在线手绘流程图识别方法. 该方法首先识别用户笔画线元, 对识别出的线元进行拟合并记录其属性信息, 然后以流程图基本图形为单位, 利用构成图元的笔画几何特征及笔画间的几何关系识别具体图形. 整个识别过程简单、快捷、准确性较高, 对用户绘图笔画顺序无要求, 适用于不同用户的绘图习惯.

**关键词:** 流程图; 图元; 几何特征; 在线手绘图识别

**中图分类号:** TP391.41

**文献标志码:** A

## Online hand-sketched flow chart recognition based on geometric features

ZHANG Xiaoliang, SUN Genzheng, LIAO Daxiong, WANG Shuxia

(School of Mechatronics, Northwestern Polytechnical Univ., Xi'an 710072, China)

**Abstract:** To reduce the complex operation steps in graphics designing and drawing software, an online hand-sketched graphics recognition method is proposed for flow chart based on geometric features of graphics unit. The approach recognizes user's sketched graphics through firstly identifying the kinds of lines for inputting strokes, regulating the strokes to geometric lines and recording the attribute information of the strokes. Then user's sketched graphics are identified by applying geometric features of the strokes and geometric relations between strokes in graphics unit. The whole recognition process is simple and agile with high veracity. And the method doesn't require the fixed order of sketched strokes and is applicable to different users.

**Key words:** flow chart; graphics unit; geometric features; online hand-sketched graphics recognition

## 0 引言

现今的设计软件多采用菜单和图标驱动的输入方式, 繁琐的操作步骤阻碍工程师的思维, 降低设计效率; 草图系统作为设计师表达与交流概念的新兴工具成为近几年的研究热点之一. 该系统以鼠标或绘图仪作为输入工具, 利用计算机进行草图的智能化识别.

目前, 手绘图识别的研究方法主要有以下几类:

(1) 统计方法<sup>[1]</sup>, 基于圆锥曲线方程的线性最小平方匹配法, 能实时分类手绘笔画, 识别直线、椭圆弧和圆角; (2) 模糊推理方法<sup>[2,4]</sup>, 用模糊逻辑和模糊知识, 从草图的位置、方向、速度和加速度捕获绘图者的意图, 实现草图识别; (3) 几何方法, 文献[5]把手绘草图作为整体进行识别, 需要进行平滑处理、提取圆弧段、识别节点、分解出直线段; 再根据相邻

收稿日期: 2006-07-07 修回日期: 2006-10-19

作者简介: 张小亮(1979-), 男, 陕西西安人, 硕士研究生, 研究方向为计算机图形图像理论与应用, (E-mail) xiaoliang6802285@163.com;

孙根正(1954-), 男, 陕西潼关人, 教授, 研究方向为工程图学, (E-mail) sungzh@nwpu.edu.cn

3 点的矢量建立角度相似函数,采用夹角角度值作为圆弧和直线的提取特征,并给出角度的实验阈值,然后进行分类;(4)神经网络方法,文献[6]提出通过提取图素几何形状的内角特征,用二进制突触的权重算法 BSW(含一个隐层的前馈网)进行识别的方法.这些方法或者只注重草图识别中的某一方面或某几方面,缺乏相对完整的草图识别技术理论体系;或者没有屏蔽用户绘制习惯的差异,不具有良好的多用户适应性.本文针对手绘流程图,研究一种基于图元几何特征的识别方法,该方法适用于不同用户的绘制习惯,不依赖笔画顺序.

同一图形存在不同的绘制方法,以笔画为单位进行识别限制用户绘图的自由性,而基于图元的识别可解除这种限制,即不必考虑用户绘制笔画顺序,以图元为单位进行识别.本文研究在线手绘流程图识别,针对流程图自身具有预定义组合图形过多、基本图形的几何特征较为明确的特点,采用基于图元几何特征的识别方法.该方法首先识别用户笔画线元,接着对其拟合,然后分析流程图基本图形(以下称为图元)的几何特征,得出构成图元的线元间几何关系,最后综合利用线元、图元的几何特征对欲识别图元做出具体识别.该方法识别图元准确率较高,识别简单流程图快捷、方便.

## 1 笔画线元的识别与拟合

笔画定义为落笔—移笔—提笔的过程.表现单纯线型最基本的几何线条称为线元.本文定义的笔画线元有直线段、折线段(由依次连接一系列折点的直线段构成)、圆弧(圆心角不超过  $180^\circ$ ).线元识别即判断手绘笔画是何种线元,将识别出的线元规整为理想的几何线元就是线元拟合.

### 1.1 线元识别

用户手绘线元不同于理想线元,具有一定模糊性.线元拟合前需要识别,这里采用夹角—弧长图判别:针对用户输入的某一笔画的等距离散采样点序列  $S = \{(x_i, y_i) | i = 0, 1, \dots, n, \dots, p\}$ ,其中  $n \leq p-1$ ,定义相邻两点  $(x_n, y_n)$  和  $(x_{n+1}, y_{n+1})$  的夹角

$$d_n = \begin{cases} \arctan\left(\frac{y_{n+1} - y_n}{x_{n+1} - x_n}\right) & x_{n+1} \neq x_n \\ \frac{\pi}{2} & x_{n+1} = x_n \text{ 且 } y_{n+1} > y_n \\ -\frac{\pi}{2} & x_{n+1} = x_n \text{ 且 } y_{n+1} < y_n \end{cases} \quad (1)$$

理想线元上点的夹角随弧长的变化曲线见图

万方数据

1, (a) 中的理想线元直线段 I, 图弧 II 和折线段 III 的夹角弧长的变化曲线分别是 (b) 中的 I, II 和 III. 虽然手绘线元的夹角—弧长图没有理想线元精确, 局部存在误差, 但相互间整体上的区别较为明显, 可用于识别线元.

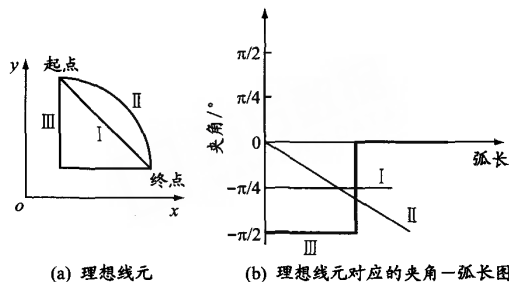


图 1

### 1.2 线元拟合

线元拟合即规整手绘笔画线元为理想的几何线元,同时保证两者之间的误差不超过一定的阈值.直线段可视为折点个数为 0 的特殊折线段,其拟合是折线段拟合步骤的一步.

#### 1.2.1 折线段拟合

折线段拟合首先寻找所有折点,然后对相邻两折点间的采样点列做直线拟合.其折点确定采用自顶而下的多直线段分裂方法<sup>[7]</sup>,过程如下:

考虑图 2 所示的采样点曲线,将第一个和最后一个采样点连成的直线段作为曲线的初始拟合,用 AB 标记.在采样点中计算最大规范误差  $\epsilon^{[8]}$ ,如果该误差值高于某一阈值  $K^{[8]}$ ,则离直线段 AB 最远的采样点即为折线段的一个折点,用 C 来标记.这样,将形成两个拟合直线段 AC 和 CB,笔画也被分割成对应于两个新直线段的两个子笔画.在每一个子笔画中,重复上述分裂算法,形成两个新的直线段及对应的两个更小的子笔画.这样的分裂过程可以一直

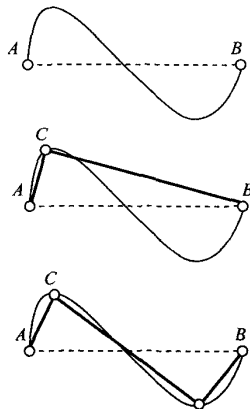


图 2 多直线段分裂示意图(从上向下)

进行下去,直到所有直线段对应的最大规范误差均低于该阈值  $K$  为止,此时折点已全部找出。

接下来对相邻两折点间的采样点列采用最小二乘法做直线拟合,然后求相邻两直线的交点,此交点即为调整后的折点,定义拟合折线段首末端点为:笔画首末端点向对应的拟合直线段做垂线,垂足即为新的端点。

1.2.2 圆弧拟合

圆弧拟合的关键是确定最优圆心位置  $(X,Y)$  和最优半径  $R$ 。针对欲拟合最小二乘圆  $(x-X)^2 + (y-Y)^2 = R^2$ , 残余误差  $e_i = \sqrt{(x_i - X)^2 + (y_i - Y)^2} - R$ , 目标是使  $\sum e_i^2$  最小。本文采用文献[9]提出的用最小二乘圆简化模型的线性迭代运算去逼近最小二乘圆精确模型的优化解这一思想来求解  $X,Y,R$ 。

求解出拟合圆圆心坐标和半径后,还需对圆弧两端点进行调整。定义拟合圆弧的首末端点为:连接笔画首末端点的直线与拟合圆的交点。

2 基于几何特征的流程图图元的识别

流程图图元形状大部分是封闭图形,用户绘制完一笔,自动识别系统就要判断是否绘制一个图元,若绘制完毕,就对该图元进行识别,否则等待用户绘制下一笔画。因此先判断图元是否绘制完毕,然后对欲识别图元进行识别。

2.1 判断流程图图元是否绘制完毕

流程图图元形状大部分为封闭形状,绘制完毕时,形状信息表现为准相交,有 4 种形式,如图 3 所示的(b),(c),(d),(e)。利用的准相交信息如下:对于未相交的(b)和(c),将笔画末端延长至相交,若延长线长度相对于原笔画长度很小,则判断此笔画欲在相交点形成封闭。对于已相交的(d)和(e),相交点将笔画分为两部分,分别求出这两部分的长度;一个笔画经交点分割后,若较短一段的长度相对于较长一段的长度很小,则判断此笔画也是要在相交点形成封闭。

一般而言,用户在绘制图元过程中,笔在相邻笔画间的停顿时间比用户结束前一个图元绘制、开始下一个图元绘制的停顿时间短。

因此,本文采用时间阈值并结合准相交这一形状信息来判断图元是否绘制完毕。绘制流程图草图时,若前一笔画与后一笔画间的停顿时间超过时间阈值,且前一笔画具有如上的相交信息,则判断在绘制完前一笔画之时,该图元也绘制完毕。

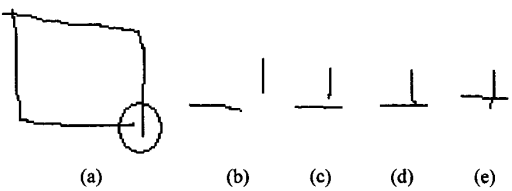


图 3 流程图封闭图元:(a)绘制完毕时笔画末端的形状信息,(b)和(c)未相交,(d)和(e)相交。

2.2 流程图图元识别

流程图图元识别是在重新排列后的笔画序列基础上,先对用户输入的原始笔画序列进行重新排列,然后再对能构成图元的新的笔画序列做出相关定义,并给出与识别紧密相关的判定方法,最后是识别算法。

2.2.1 原始笔画序列的重新排列

(1) 假定用户输入的原始笔画序列  $S_1 = \{b_i | i=0,1,\dots,p, \text{ 且 } 0 \leq p \leq 3\}$ ;

(2) 依据折线段拟合的折点个数将  $S_1$  中所有折线段笔画分割为直线段序列;例如折线段笔画  $b_i$  有  $n$  个折点,  $b_i$  经分割后的直线段序列为  $b_{i0}, b_{i1}, \dots, b_{in}$ ;

(3) 假定  $S_1$  的一种情况:只有  $b_i$  为折线段,且其折点个数为  $n$ ,经过分割后,形成只包含直线段和圆弧的新的笔画序列  $S_2: b_0, b_1, \dots, b_{i0}, b_{i1}, \dots, b_{in}, \dots, b_p$ ;其他情况类似处理;

(4) 流程图图元形状大多是由两组对边构成的封闭图形,例如图 4 所示的两组对边  $a$  与  $b, c$  与  $d$ 。由此推出  $S_2$  构成流程图图元的必要条件是  $p + n + 1 = 4$ ,若  $S_2$  满足此条件,对其依据顺时针走向重新排列,假定重新排列后的笔画序列  $S_3: c_0, c_1, c_2, c_3$ 。

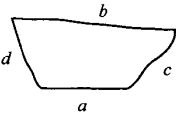


图 4 两组对边: $a$ 与 $b$ 及 $c$ 与 $d$ 构成的封闭图元

2.2.2 相关定义

封闭图形:按照顺时针(或逆时针)走向,笔画序列  $S_3$  能循环下去,即

$$c_0 \rightarrow c_1 \rightarrow c_2 \rightarrow c_3 \rightarrow c_0 \rightarrow c_1 \rightarrow \dots$$

对边  $c_i$  与  $c_{i+2}$ :封闭图形的两组对边分别是  $i$  取 0 和 1 的情况,即  $c_0$  与  $c_2, c_1$  与  $c_3$ 。

邻边  $c_i$  与  $c_{i+1}$ :封闭图形有 4 组邻边,分别是  $i = 0, 1, 2, 3$  的情况,即  $c_0$  与  $c_1, c_1$  与  $c_2, c_2$  与  $c_3, c_3$  与  $c_4$  (由于是封闭图形,故  $c_4$  即为  $c_0$ )。

线元  $c_i$  类型  $Type(c_i)$ :  $c_i$  为直线段,取

$\text{Type}(c_i) = 1$ ;  $c_i$  为圆弧, 取  $\text{Type}(c_i) = 0$ .

线元  $c_i$  长度  $l(c_i)$ : 这里指  $c_i$  的轨迹长度.

构成  $c_i$  和  $c_{i+2}$  的点列分别是

$$P(c_i) = \{(x_{ij}, y_{ij}) \mid j = 0, 1, \dots, m_i\},$$

$$P(c_{i+2}) = \{(x_{ij}, y_{ij}) \mid j = 0, 1, \dots, m_{i+2}\}.$$

直线段倾斜角  $\delta$ : 直线段与坐标横轴夹角中较小的那个角.

### 2.2.3 判定方法

(1) 直线段类型判定: 假定线元  $c_i$  为直线段, 若  $\delta/90 \leq K_1$ , 取  $T_1(c_i) = 1$  为水平直线段; 若  $\delta/90 \geq 1 - K_1$ , 取  $T_1(c_i) = 2$  为竖直直线段; 若  $K_1 < \delta/90 < 1 - K_1$ , 取  $T_1(c_i) = 0$  为斜线段;

(2) 邻边垂直判定: 假定  $c_i$  和  $c_{i+1}$  均为直线段, 其交点为  $O_{i,i+1}$ , 度量以  $O_{i,i+1}$  为顶点, 以  $c_i$  和  $c_{i+1}$  为两边的角  $\theta_i$  的度数; 若  $|\theta_i - 90| \leq K_2$ , 取  $T_2 = 1$  为两邻边垂直, 否则取  $T_2 = 0$  为不垂直;

(3) 对边等长判定: 若  $|l(c_i) - l(c_{i+2})| \leq K_3$ , 取  $T_3 = 1$  为对边等长, 否则取  $T_3 = 0$  为不等长;

(4) 对边平行判定: 确定  $c_i$  和  $c_{i+2}$  各自的中心

$$\text{点分别是 } O_i \left( \frac{\sum_{j=0}^{m_i} x_{ij}}{m_i + 1}, \frac{\sum_{j=0}^{m_i} y_{ij}}{m_i + 1} \right), O_{i+2} \left( \frac{\sum_{j=0}^{m_{i+2}} x_{ij}}{m_{i+2} + 1}, \frac{\sum_{j=0}^{m_{i+2}} y_{ij}}{m_{i+2} + 1} \right)$$

$c_i$  沿  $O_i O_{i+2}$  方向平移距离  $|O_i O_{i+2}|$ , 假定平移后的笔画为  $c'_i$ , 计算  $c'_i$  与  $c_{i+2}$  重叠区域的面积 Square, 若  $\text{Square} \leq K_4$ , 取  $T_4 = 1$  为对边平行, 否则取  $T_4 = 0$  为不平行;

(5) 对边对称判定: 做上述连线  $O_i O_{i+2}$  的垂直平分线  $L$ , 过  $c_i$  上任意一点  $(x_{ij}, y_{ij})$  做与连线  $O_i O_{i+2}$  平行的直线, 与  $c_i, L, c_{i+2}$  的交点依次为  $A_j, O_j, B_j$ , 若  $\max_j \|A_j O_j\| - \|B_j O_j\| \leq K_5$ , 取  $T_5 = 1$  为对边对称, 否则取  $T_5 = 0$  为不对称.

### 2.2.4 图元识别算法

通过观察, 发现流程图图元的几何形状特征: 大部分是由两组对边构成的封闭图形; 构成对边的两线元分为同一线元类型和不同线元类型; 若为同一线元类型, 又分为等长且平行、等长且对称、不等长等类别. 大多数图元都有一组特殊对边, 由等长的两水平 (竖直) 直线段构成; 形状是矩形的图元出现频率较高. 本文利用以上几何形状信息对流程图图元

进行识别并规整识别出的图元, 使之成为标准的几何图形. 识别算法如下:

(1) 首先判断图元是否绘制完毕, 若绘制完毕, 进入下一步, 否则继续等待用户绘制下一笔画;

(2) 对用户输入的原始笔画序列重新排列, 检验所绘制笔画序列能否构成由两组对边组成的封闭图形; 若能, 进入下一步, 否则给出出错信息;

(3) 计算重新排列后的笔画序列的属性信息

$$W_1 = [\text{Type}(c_i), l(c_i), P(c_i), T_1(c_i)] \Big|_{i=0,1,2,3};$$

然后判断  $\text{Type}(c_i)$  与  $\text{Type}(c_{i+1})$  是否都等于 1, 若都等于 1, 对两邻边做垂直判定; 否则接着判断  $\text{Type}(c_i)$  是否等于  $\text{Type}(c_{i+2})$ , 若等于则转入下一步, 否则转入 (5);

(4) 先作对边等长判定, 若对边不等长, 则此对边肯定不对称, 但对于  $\text{Type}(c_i) = \text{Type}(c_{i+2}) = 1$  这一情况还需作平行判定; 若对边等长, 此对边还需做平行判定和对称判定;

(5) 将 (3) 和 (4) 的判定结果记录在笔画间几何关系信息  $W_2 = [T_2, T_3, T_4, T_5]$  中;

(6) 综合利用  $W_1$  和  $W_2$  识别原始笔画序列表示何种图元, 例如, 构成的形状如图 4, 经过重新排列后的笔画序列为  $b, c, a, d$ , 笔画序列的属性信息有  $\text{Type}(a) = \text{Type}(b) = \text{Type}(c) = \text{Type}(d) = 1$ ,  $T_1(a) = T_1(b) = 1, T_1(c) = T_1(d) = 0$ ; 笔画间几何关系信息有对边  $a$  与  $b$  的  $T_3 = 0, T_4 = 1, T_5 = 0$ , 对边  $c$  与  $d$  的  $T_3 = 1, T_4 = 0, T_5 = 1$ , 4 组邻边的  $T_2 = 0$ . 这两组信息满足图元是梯形这一条件, 故判定此笔画序列构成梯形图元.

## 3 算法验证与实验结果分析

选取流程图的 9 个基本图元进行识别实验. 实验平台 Windows XP, 实验环境 Visual C++, 用户输入设备为鼠标. 每个图元的绘制数量在 10 到 20 个, 绘制无先后要求. 用户绘制的同时, 系统同步处理采样点, 运算之后显示识别结果, 识别结果见表 1.










从识别率看, 仅由直线段构成的图元识别效果好于由直线段和圆弧共同构成的图元, 但总体上良好; 从识别所需平均时间看, 由于勾画圆弧所需时间相对于直线而言较长, 故由直线段和圆弧共同构成

注: ① (3), (4), (5) 这 3 个判定针对的都是对边的两边均为同一类型线元这一情况, 即只有在  $\text{Type}(c_i) = \text{Type}(c_{i+2})$  的情况下才可应用; 判定 (2) 针对的是两邻边都是直线段这一情况, 即  $\text{Type}(c_i) = \text{Type}(c_{i+1}) = 1$ ; 判定 (1) 针对的是单个直线段这一情况, 即  $\text{Type}(c_i) = 1$ , 而对于圆弧则无意义, 为了定义方便, 若  $\text{Type}(c_i) = 0$ , 取  $T_1(c_i) = \infty$  表示无意义.

② 阈值  $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5$  的选取涉及到边的长度和边的中心点的位置坐标等, 同时由于存在一定误差, 所以通过多次实验给出的经验值允许有小范围的波动.

的图元的识别平均时间稍长些,可看出识别与用户勾画几乎同时结束,达到在线识别要求.

表 1 实验结果统计分析

图元										总计
数量	12	15	10	20	16	12	12	15	16	128
识别率/%	100	93	90	85	88	83	83	80	81	87
总时间/s	8.00	12.00	8.00	18.00	18.00	11.00	12.00	19.00	18.00	124.00
平均时间/s	0.67	0.80	0.80	0.90	1.13	0.92	1.00	1.27	1.13	0.97

4 结束语

针对在线手绘流程图,提出基于图元的几何特征识别方法.该方法以图元为单位进行识别,对绘制笔画的顺序无要求,符合人们的绘图习惯;同时该方法充分利用图元的几何特征,使得识别过程变得简

单、快捷;对于基本图形几何特征较为明确的一些领域诸如电路图领域亦有借鉴意义.该方法识别图元准确性较高,识别简单流程图快速、简单,但为了进一步提高识别准确性,应在后期工作中充分利用流程图基本图形的上下文信息,以便建立完整的手绘图识别系统.

参考文献:

[1] SHPITALNI M, LIPSON H. Classification of sketch strokes and corner detection using conic and adaptive clustering [J]. J Mechanical Design, Transactions ASME, 1997, 119(1): 131-135.

[2] QIN S F, WRIGHT D K, JORDANOV I N. Conceptual design tool: A sketch and fuzzy logic based system [J]. J Eng Manufacture, 2001, 215(1): 111-116.

[3] QIN S F, WRIGHT D K, JORDANOV I N. On-line segmentation of freehand sketches by knowledge-based nonlinear thresholding operations [J]. Pattern Recognition, 2001, 34(10): 1 885-1 893.

[4] QIN S F, WRIGHT D K, JORDANOV I N. From on-line sketching to 2D and 3D geometry: a system based on fuzzy knowledge [J]. Computer-Aided Design, 2000, 32(12): 851-866.

[5] CHEN Dongfan, WANG Ronghang. The principles of online handsketch input [J]. J Computer-Aided Design & Computer Graphics, 1993, 5(2): 114-120.

[6] ULGEN F, FLAVELL A, AKAMATSU N. On-line shape recognition with incremental training using binary synaptic weights algorithm [J]. Applied Intelligence, 1996, 6(3): 225-240.

[7] WANG G Y, HOUKES Z, ZHENG B, et al. A note on conic fitting by the gradient weighted least-squares estimation: refined eigenvector solution [J], Pattern Recognition Letters, 2002, 23(14): 1 695-1 703.

[8] 王淑侠. 支持概念设计的手绘图在线识别研究[D]. 西安:西北工业大学, 2006.

[9] 刘文武, 聂恒敬. 一种用于圆度误差评定的优化算法[J]. 仪器仪表学报, 1998, 19(4): 94-97.

(编辑 廖粤新)

(上接第 24 页)

基于模板距离分布的中心点搜索方法虽然在识别步骤前新增标记边界点以及标记可能中心点两个

步骤,具有一定的时间开销,然而在识别步骤时却加快了烟支定位与识别的速度与准确性,能够满足厂方对烟支计数环节时间与精度的要求.

参考文献:

[1] HEIKKI K, PETRI H. Probabilistic and non-probabilistic Hough transforms: overview and comparisons[J]. Image and Vision Computing, 1995, 13(4): 239-252.

[2] HU Yi, TOMOHARU Nagao. Matching of characters in scene images by using local shape feature vectors[C]//Bob Werner. Proc 12th International Conference on Image Analysis and Processing. Los Alamitos, California: IEEE Computer Society, 2003: 207-212.

[3] 陈浩, 王景中, 姚光明. 基于类圆分割的棒材计数图像识别[J]. 工程图学学报, 2004, (4): 98-103.

[4] 荣新, 朱铁一. 不规则类圆形目标图像识别新策略[J]. 中国图像图形学报, 1999, 4(3): 202-206.

[5] 边肇祺, 张学工. 模式识别[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.

(编辑 廖粤新)