

基于几何变换的草图重叠笔画的判断和拟合方法*

穆慧茹, 郑程文

(西南民族大学 计算机科学与技术学院, 四川 成都 610041)

摘要: 在创建草图时, 设计师经常使用多个过度绘制的笔画来描述预期的曲线。对于这样的草图, 观察者们很容易将这些笔画判别为是同一个笔画类型。为了将过度绘制的笔画修整为单一笔画, 提出了一种基于几何变换的草图重叠笔画的判定和拟合方法。该方法首先找到输入的笔画中最长的一条, 并将该笔画经过折点化处理后得到一个逼近该笔画的折点序列。将折点化的线段经过变换后得到一个变换矩阵, 通过这个矩阵来判断哪些属于过度绘制笔画, 再将聚类后笔画进行拟合从而修整为单一笔画, 这样既能提高运算速度又达到了设计师的意图草图。

关键词: 多笔画; 过度绘制笔画; 几何变换; 笔画聚类; 曲线拟合

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

DOI: 10.19358/j.issn.2096-5133.2020.08.008

引用格式: 穆慧茹, 郑程文. 基于几何变换的草图重叠笔画的判断和拟合方法[J]. 信息技术与网络安全, 2020, 39(8): 43-47.

Judgement and fitting method of sketch overlapping strokes based on geometric transformation

Mu Huiru, Zheng Chengwen

(School of Computer Science and Technology, Southwest Minzu University, Chengdu 610041, China)

Abstract: When creating sketches, designers often use multiple overdrawn strokes to describe the expected curve. For such sketches, observers can easily distinguish these strokes as the same type of stroke. In order to trim over-drawn strokes into a single stroke, this paper proposes a method for judging and fitting overlapping strokes of sketches based on geometric transformation. The method firstly finds the longest one of the input strokes, and after making the strokes become vertices, a sequence of vertices that approximates the strokes is obtained. After transforming the vertices of the line segment, a transformation matrix is obtained, which is used to judge which are over-drawn strokes, and then the clustered strokes are fitted, which can not only improve the calculation speed but also reach the designer's intention sketch.

Key words: multiple strokes; over-drawn strokes; geometric transformation; stroke clustering; curve fitting

0 引言

手绘线条为设计师提供了一种可以快速传达形状、想法和图像的途径, 当设计师开始创造线条图时, 设计师经常过度绘制线条, 使用多个原始笔画组来描绘其预期的聚合曲线。随着平板电脑和数位板的普及, 设计师可以在计算机程序中轻松创建线条图并以矢量形式记录笔画。但设计师使用计算机辅助设计软件绘制草图时, 往往需要在众多的菜单和工具条按钮之间进行选择, 这在一定程度上阻

碍了设计师的工作效率和创作灵感。

因为处在不同领域的设计师有不同的设计风格、不同的个人偏好和不同的绘制习惯, 因此在计算机上模拟传统的纸笔图形绘制方法, 一个关键的问题是能够正确识别设计师绘制的每一条笔画, 计算机在理解其绘制意图的同时还需考虑手绘草图设计过程中出现的噪声干扰, 以及用户的适应性问题等^[1]。能否将传统纸笔设计的优点与计算机强大的图形处理能力相结合, 以克服上述不足, 成为研究人员一段时间以来不断追求的目标。在这期间, 计算机图形学、人工智能、模式识别等技术的发展,

* 基金项目: 西南民族大学研究生创新型科研项目(CX2020SP68)

高性能平板计算机、数字墨水等的出现,为手绘草图技术的发展提供了可靠的理论基础和实验条件。

设计师在构思图纸时会对同一笔画进行过度描绘以达到其想要的效果,因此形成了重叠笔画,对于这类笔画,能够轻易地被设计人员当作是同一条笔画,但是计算机识别出来却是一一独立的没有位置联系的笔画。因此本文提出基于几何变换的草图重叠笔画的判别方法,通过将笔画平移旋转,使得重叠笔画间的位置关系更加清晰明确,便于计算机的判断,同时在一定程度上提高了计算机识别的速度,减少笔画的聚类时间,进一步为手绘草图处理的后期工作奠定了基础。

1 相关工作

包含重叠笔画的草图在经过聚类与拟合后,能否正确表示设计师的预期图形,是判别笔画是否重叠的重要标准。对于草图笔画的处理问题,国内外学者开展了大量的研究。孙正兴等^[2]利用图形的空间和时间关系及时捕捉并反馈用户输入图形的组成意图,该方法限制用户需要用连续的笔画绘制图形,以位置上相近为图形的组合标注。李雪峰等^[3]添加了笔画合并以及多旋转检测。笔画合并和多旋转检测都考虑了多笔画输入的情况。基于组合图形的手绘草图,主要考虑图元间的位置关系,因此在预处理阶段,首先将图形分割为基本图元(圆形、三角形等),然后对基本图元进行噪声处理。谢强等^[4]利用笔画的空间关系来完成笔画的自动分组,其更符合人们理解草图的过程,且对用户绘制过程的限制较小,但在用户输入的原始笔画中可能会出现与其意图无关的笔画,这种笔画会影响计算机的识别速度,导致性能降低,用户输入笔画的再现性较差。BAE S H 等^[5]依靠绝对距离和绘图顺序来确定每个新笔画,并将这些新笔画用于细化现有的笔画。但是顺序不是笔画相关性的可靠标准,因为设计师经常进行多次细化过程,在编辑图形的其他部分后可能返回到绘制过的笔画处继续描绘。GRABLI S 等^[6]通过删除精美或多余的内容来减少详细图纸中的视觉混乱。王淑侠等^[7]、周晶等^[8]提出容差带的思想去判断重叠笔画,在判断重叠笔画时在原笔画处构建笔画的容差带,增加了计算量,从而降低了判断的速度。而本文改变了惯有思路,将笔画经过变换后再进行判断,简化了判别的过程。

在对笔画进行处理前需要先对其进行单笔画

的预处理,常见的预处理包括去噪、去除冗余点、角点检测重采样、图元分割等^[9]方法。在处理时采用的方法应寻求保留图形内容,因此在保留其原有笔画形态的情况下,对原始笔画进行预处理,接着识别和合并共同代表相同预期曲线的原始笔画组,以达到较好的实验效果。本文基于坐标变化进行的重叠笔画的判断流程如图1所示。由设计师输入笔画,计算机对笔画进行预处理,并对笔画进行坐标变换,利用坐标变换后的笔画之间的位置关系来判断其是否属于重叠笔画,对符合条件的笔画进行聚类,最后针对不同类型的笔画,使用不同的拟合方法,最终得到一个二维线图。使用坐标变换的方法,提高了计算速度,使聚类的过程更快更精准。

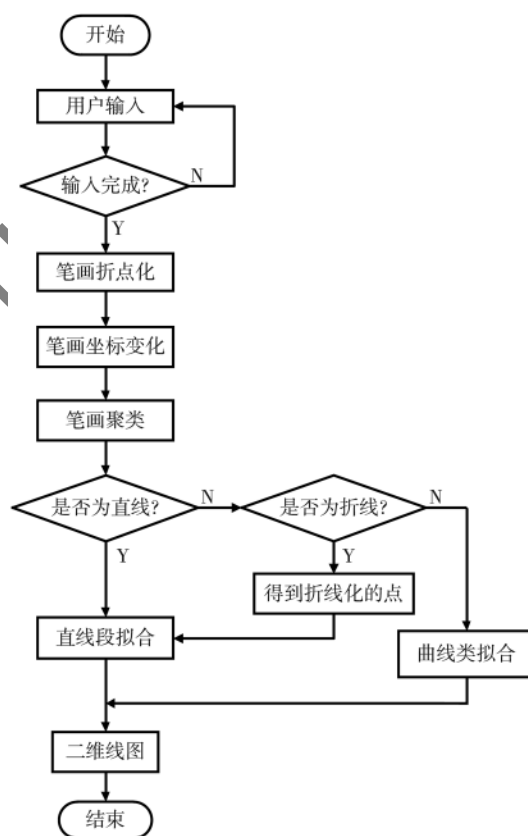


图1 重叠笔画判断流程图

2 基于几何变换的重叠笔画的判定

在绘制草图时,设计师经常会通过加深或者重叠笔触来强调设计意图,这就出现用多条笔触重复绘制,近似重叠的情况。这种情况需要有效地判断并处理成单一笔画。由于手绘草图的位置根据用户的意图而定,不便于计算机识别其位置关系,也不便于计算,本文采用几何变换的方法,在笔

画折线化后,将两折点形成的线段通过几何变换,得到相应的平移旋转矩阵,通过这个复合矩阵来判断是否为重叠笔画。

2.1 笔画预处理

对手绘草图的预处理主要用于消除由用户绘图习惯不同以及草图固有的随意性而产生的噪声。噪声笔画是指用户手绘输入的草图中与其意图无关的笔画,即噪声笔画主要表现为手绘草图中的微小笔画。这些微小笔画不能提供足够的有效信息,而且会导致性能降低,因此本文对这种噪音笔画进行删除处理:当笔画所包含的数据点个数或者笔画长度小于某给定阈值时,将该笔画删除。

由于用户绘制草图笔画时的抖动,在笔画的端点处往往存在诸如小钩、小圈之类的笔锋,这些小的笔锋会对后期折点化处理造成影响,因此在预处理时应当对笔画进行去头去尾处理。本文采用的处理方法是分别计算笔画头和笔画尾里面曲率最大的点或者小于一定角度阈值的点,通过曲率或角度来判断是否要对笔画进行去头去尾处理。

最初的鼠标输入的样本可能因用户使用鼠标的速度不同而导致采样点非常不规则,即鼠标移动过快时会使得数据点很少,相反则很多。由于过多的样本将导致算法性能降低,而过少的样本将导致用户输入的再现性较差。因此为了降低绘制速度对采样点的影响,本文对原始采样点集合进行重采样。

从每一笔的首端开始计算,将第一个点加入重采样的笔画集合中,并设 $D=0$,接着计算第 i 个点与第 $i+1$ 个点的距离 $D_{i,i+1}$ ($i=1,2,3,\dots,n$),并令 $D=D+D_{i,i+1}$ 。当加到第 k ($k=2,3,\dots,n$) 个数时,如果 D 大于本文设置的阈值,则在第 k 个数和第 $k+1$ 个数之间定义一个点,记为 m ,并把 m 加入重采样的集合中;如果上述条件不成立,则 $D=0$,重复执行以上过程直到最后一个点。若最后一个点不满足,则也加入到重采样的序列中。

2.2 几何变换的原理

假设笔画已经进行了折线化处理,设折点点集为 $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)\}$, 取相邻两折点 $p_i(x_i, y_i)$, $p_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1})$, 同时求其中点为 $p_m(x_m, y_m)$ 。

首先将 $p_1 p_2$ 所在折线段在坐标系内平移使得中点 p_m 落在坐标轴原点处,得到几何变换的矩阵为:

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -x_m \\ 0 & 1 & -y_m \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

接着假设该平移后的折线段 $p_1' p_2'$ 与坐标轴 x 的夹角为 θ , 即该折线段旋转的角度,得到旋转变换的矩阵为:

$$R = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

已知该夹角 θ 为平移后的折线段 $p_1' p_2'$ 的向量 $\overrightarrow{op_1'}$ 与 x 轴的夹角,设向量 $\overrightarrow{op_1'}$ 单位向量为 a , 令 $x_0 = x_1 - x_m$, 则:

$$a = \left(\frac{x_0}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2}}, \frac{y_0}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2}} \right) = (\cos\theta, \sin\theta) = (u_x, u_y) \quad (3)$$

因此得到旋转变换矩阵 R 为:

$$R = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_x & u_y & 0 \\ -u_y & u_x & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

由此可以得到几何变换的矩阵为:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = R \cdot T \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_x & u_y & 0 \\ -u_y & u_x & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -x_m \\ 0 & 1 & -y_m \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中 x' 和 y' 为经过几何变换后的坐标。几何变换情况如图 2 所示。

2.3 重叠笔画的判定与聚合

相邻笔画之间经过几何变换后的位置关系提供了关于这些笔画是否构成重叠笔画的条件,从而确定其是否应该聚为一类。本文假设已经将原始草图分割为具有基本几何图形的子草图,通过最小外接矩形来判断笔画的大小,对最大的笔画的折点进行几何变换得到变换的矩阵,根据复合矩阵对其他笔画进行相应的几何变换,再将结果与阈值进行比较以判断是否为重叠笔画,从而符合该重叠笔画判定标准的即为同一类,算法描述如下:

(1) 遍历子草图中的笔画找到最大的笔画,记为 $S_{\max}$;

(2) 对 $S_{\max}$ 做几何变换得到变换矩阵为 $Y = R \cdot T \cdot X$;

(3) 从子草图中选择一条笔画 S , 若 S 和 $S_{\max}$ 为同一条直线,则转至步骤(6);

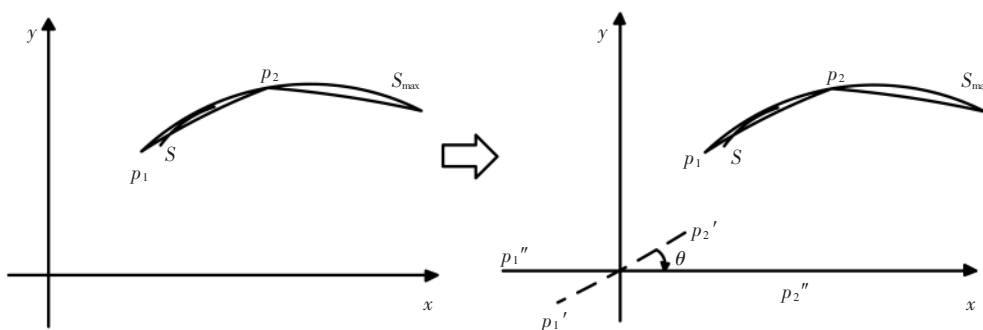


图2 笔画的几何变换示意图

(4) 遍历笔画 S 中的采样点 $\{p_j; 0 \leq j \leq m\}$, 对每一个采样点进行矩阵 $R \cdot T$ 变换得到新的采样点, 若新的采样点的 x 坐标和 y 坐标的数值小于设置的阈值 δ_x 和 δ_y , 则 $u = u + 1$;

(5) 计算 u 与 m 的比值 δ_m , 若 δ_m 大于阈值则判为重叠笔画;

(6) 算法结束。

其中 δ_x 设为一半折线段的长度, δ_y 由折线段的长度和笔画的宽度决定, 认为其大小影响重叠笔画判定的严格程度。重叠笔画的判定如图3所示。

3 重叠笔画的拟合

笔画拟合是将手绘笔画处理成与用户期望近似的图形。重叠笔画聚类之后转变成子草图的集合。由于本文对子草图进行重叠笔画判定时, 每次选取的都是子草图笔画中最长的一笔, 因此本文只针对最长笔画来判定聚合后的笔画属于哪一类图元。例如, 聚类后的子草图笔画集合为 $\mathcal{C}$, 该集合中包含了经过判别后的笔画组, 取其中一个笔画组 g , 若 g 中最大的笔画为直线类, 则该笔画组 g 就以折线段的方法进行拟合。本文假设聚合后的笔画组仅包含直线类、折线类、曲线类这些基本图形。

3.1 直线类和折线类拟合

对于重叠笔画的直线段拟合, 在聚合后的笔画组中选取欧式距离最远的两个折点, 将其作为起点

和终点, 以这两个点连成线段, 即为该直线类笔画拟合后的结果。

通过观察可知, 折线段是由直线段组成的, 因此只要找到折线段的折点, 对相邻两折点构成的线段按照直线段拟合的方法处理即可。首先根据笔画折点序列将该折线段笔画分割成若干直线段的集合, 对这些分割后的折线段进行笔画聚类, 最后进行直线段拟合, 拟合的结果即为折点依次相连的直线段组成的折线。

3.2 曲线类拟合

本文对曲线类笔画组的拟合采用三次曲线, 使用曲线拟合曲线的关键是寻找控制点, 三次曲线的公式为:

$$B(t) = p_0(1-t)^3 + 3p_1t(1-t)^2 + 3p_2t^2(1-t) + p_3t^3 \quad (6)$$

对于三次曲线, 需要寻找四个控制点, 即 p_0, p_1, p_2, p_3 。控制点的求法^[10], 即曲线的首尾两端为两个控制点, 另外两个控制点 p_1 和 p_2 , 由下式求得:

$$\begin{cases} p_1 = k_1 \cdot t_1 + p_0 \\ p_2 = k_2 \cdot t_2 + p_3 \end{cases} \quad (7)$$

其中 k_1, t_1 分别为端点 p_0 到距离最近且曲率最大的点的长度和单位切线向量, k_2, t_2 为端点 p_3 到最近的曲率最大的点的笔画长度和单位切线向量。

4 实验与分析

针对手绘草图中的重叠笔画处理问题, 本文提

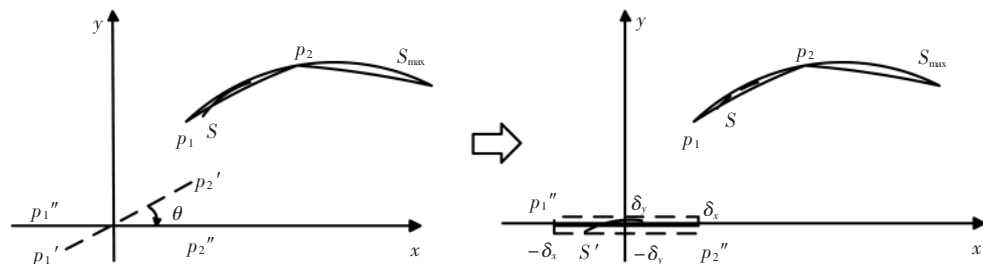


图3 重叠笔画判定示意图

出了一种基于几何变换的手绘草图的多笔画判断与拟合方法,在解决该问题时打破常规的思路,不在原有的坐标位置上进行判断,而是经过几何的坐标变换,使得笔画之间的位置更容易被计算机识别,在达到目的的同时提高了判断的速度,为后续的草图笔画处理工作奠定了基础。本文方法单一图元拟合效果如表 1 所示。为了证明本方法的有效性和优越性,本文分别对三维零件草图、电路草图以及工业设计草图进行了实验,效果如表 2 所示。可以看出,本文所提的基于几何变换的草图重叠笔画的判定方法不仅在单一图元上表现出优越性能,同时在多图元的复合草图上表现良好。

表 1 单一图元拟合效果

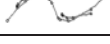
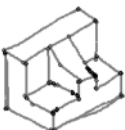
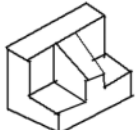
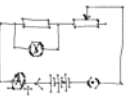
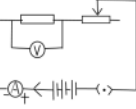
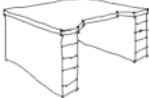
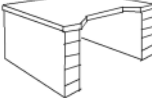
类型	用户输入	拟合结果
直线		
折线		
二次曲线		
三次曲线		

表 2 复合草图拟合效果

类型	用户输入	拟合效果
三维零件草图		
电路草图		
工业设计草图		

5 结论

本文利用几何变换的思想通过改变笔画的位置关系得到变换矩阵,通过该变换矩阵即可对其他笔画进行判断,简化了重叠笔画的判断过程。

采用的坐标变换可以提高计算机对重叠笔画判断的运行速度,改变了以往在原笔画位置判断的思路,更容易计算得到用于判断的阈值,方便阈值的设置。

该方法把重叠笔画的判断过程转变为几何变

换的过程,在重叠笔画的判断上取得了一定的效果。而对于间断笔画即通过过度绘制使笔画延长的情况具有一定的局限性,对于如何将几何变换的方法运用于间断笔画的判别上,是笔者日后的研究方向。

参考文献

- [1] 蒋维,张斌,孙正兴.基于自适应 HMM 的在线草图识别方法[J].计算机科学,2005(5):185-189.
- [2] 孙正兴,徐晓刚,孙建勇,等.支持方案设计的手绘图输入工具[J].计算机辅助设计与图形学学报,2003(9):98-105,112.
- [3] 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,2008.
- [4] 谢强,冯桂焕,孙正兴.基于上下文的在线草图识别[J].计算机科学,2007,34(3):216-219.
- [5] BAE S H, BALAKRISHNAN R, SINGH K. I Love Sketch: as-natural-as-possible sketching system for creating 3d curve models[C]. Proceedings of the 21st Annual ACM Symposium on User Interface Software & Technology. ACM, 2008: 151-160.
- [6] GRABLI S, DURAND F, SILLION F X. Density measure for line-drawing simplification[C]. Proceedings of the 12th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications, 2004. IEEE Computer Society, 2004, 1: 309-318.
- [7] 王淑侠,王守霞,王关峰,等.在线多笔画重复绘制草图的判定与聚类[J].计算机辅助设计与图形学学报,2015,27(10):1980-1987.
- [8] 周晶,方贵盛.基于笔画容差带的手绘草图间断多笔画判定与拟合方法[J].计算机科学,2017,44(s2):184-188.
- [9] BARAN I, LEHTINEN J, POPOVI J. Sketching clothoid splines using shortest paths[C]. Computer Graphics Forum, 29(2): 655-664.
- [10] 卢琪.工程图档检索中草图规整与理解技术研究与应用[D].南京:南京航空航天大学,2009.

(收稿日期:2020-04-16)

作者简介:

穆慧茹(1995-),女,硕士研究生,主要研究方向:数字媒体技术。

郑程文(1996-),男,硕士研究生,主要研究方向:数字媒体技术。

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《信息技术与网络安全》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《信息技术与网络安全》编辑部
中国电子信息产业集团有限公司第六研究所