

基于运笔速度的手写书法仿真^①

周胜安¹, 梁 鹏²

¹(广东行政职业学院 电子信息系, 广州 510800)

²(广东技术师范学院 计算机科学学院, 广州 510665)

摘要: 分析了现有不同手写书法仿真方法的优缺点, 提出一种基于运笔速度的手写书法仿真方法. 该方法首先以一定的频率采样用户的运笔轨迹点并计算用户的运笔速度, 然后根据运笔速度仿真书法笔的书写轻重效果, 最后在起笔和落笔处加上书法笔峰效果, 从而实现手写书法仿真效果. 实验结果表明, 该方法不需要依赖专用的手写设备, 仅采集用户手写的速度信息即可实现较好的书法书写仿真效果, 为用户实现书法书写提供了一种新方法.

关键词: 书法仿真; 运笔速度; 实时采样; 书法笔模型

Calligraphy Simulation Based on Hand Drawn Speed

ZHOU Sheng-An¹, LIANG Peng²

¹(Department of Electronic Information, Guangdong Vocational Institute of Public Administration, Guangzhou 510800, China)

²(Guangdong Polytechnic Normal University College of Computer Science, Guangzhou 510665, China)

Abstract: The advantages and disadvantages of different methods are analyzed, and a new method based on hand drawn speed is proposed. The method first of all has a certain frequency sampling user hand trajectory points and calculates the user's drawing speed, then according to the pen movement simulation speed calligraphy pen writing gets weight effect. Finally, in pen to put pen to paper and pen calligraphy peak effect, in order to achieve Chinese calligraphy writing simulation effect. Experimental results show that the method doesn't need rely on special handwritten device, only needs to collect user writing speed information, it can achieve better simulation effect of calligraphy writing, for the user to achieve calligraphy writing provide a new method.

Key words: calligraphy simulation; hand drawn speed; real time sampling; calligraphy pen model.

手写作为文字的重要记录手段, 千百年来推动着世界文明滚滚向前. 自文字诞生以来, 书写的对象由龟壳、竹简、丝绸到纸张, 书写工具由骨头、刀片、笔到现代的各种电子笔, 文字书写方法的形势经历了一代又一代的革新.

当今, 计算机成了最普遍的文字书写工具, 借助计算机, 研究者开始利用计算机模拟人们日常的纸笔工作环境, 它基于纸笔的“隐喻”, 给人们提供了自然高效的交互方式^[1]. XeroxPARC 的 Tivoli^[2]是笔式用户界面研究的一个重要标志, 该系统是基于 PARC 设计的电子白板系统 LiveBoard 设计实现的. 在 Tivoli 之后

出现了一批著名的、以勾划为特征的笔式用户界面原型系统, 如 Elrod S 的 Cocktail Napkin^[3]、James Landay 的 Silk^[4]和 Tom Stahovich 的 SketchIT^[5], 这些笔式用户界面, 为用户进行书法书写带来了很大的帮助.

随着计算机处理信息速度的加快, 不依赖笔式用户界, 用计算机算法仿真手写书法引起了学者的兴趣. M.melkemi^[6], Costantini, Paolo^[7]等学者在这方面作了大量的研究工作, 并取得了一定的效果. 这些方法的共同点是首先识别用户的手写文本, 然后将预存在系统中的标准书法模板代替用户书写的文本. 国内一些学者如 CHEN Jie 提出模糊支持向量机(FSVM) 曲线

① 基金项目: 全国教育信息技术研究“十二五”规划 2014 年度青课题(146241704)

收稿时间: 2015-12-16; 收到修改稿时间: 2016-05-05 [doi: 10.15888/j.cnki.csa.005500]

类比学习算法,通过学习有限的输入字帖并能够根据用户设定的参数生成各种风格的书法作品^[8]. P.shitala, V.gyanendrak^[9]学者在这前人工作基础上进一步改进了算法,大大提高了用户手文本的识别速度和准确率,从而使书法仿真效果获得更好的应用.

为了提高书法仿真效果,一些学者早期工作如 Guo 等^[10]用随机曲线仿真纸张纤维素. Zhang 等^[11]用 3D 方式展示了笔刷墨水在纸张的扩散过程. Lee J 等^[12]通过改进仿真算法进一步提高了仿真速度. Xu, S 等^[13]学者开始尝试利用一些硬件设备来提高仿真速度,并达到实时仿真效果. 余斌等^[14]借助电子笔采集笔迹信息,并用“粒状现象”仿真纸张纤维分布,从而让书法仿真效果更加逼真.

最近, Javier Molina, Marcos, Escudero 学者利用 PC 机提供的深井摄像头识别用户手指绘制姿势来实现书法仿真^[15]. 该方法可以让用户在 PC 机前获得很大的手绘自由度,但是由于输入图像信息量很大,导致计算时间长,从而影响用户交互体验. 本文提出的基于运笔速度实现书法书写仿真,不需要额外的输入设备,在普通的 PC 机上或仅支持单点触控的大型屏幕上就可以实现有效的书法书写仿真.

1 相关方法

实现书法书写仿真基本分两步实现:第一步是获取用户书写的笔迹信息;第二步是根据用户书写信息仿真书法书写. 在获取用户手写信息方面,可以采用庄子算机相关输入设备如鼠标、多点触控、手写笔和摄像机等. 依据相应的感应电子器件获得用户手指的位置、大小及动作信息或借助专用的电子笔获得 X、Y 和 Z 向的运笔信息. 实现仿真方法可以采用笔迹建模,也可以采用纸墨建模.

XUSH^[16]、Ahsanullah^[17]等学者采用多点触控设备并使用笔迹建模进行手写书法仿真取得了一定的交互效果. 但是这类方法没有展现出书法笔所特有的笔峰效果. 为了仿真出书法笔的细腻效果,一些学者如 Chen^[18]等通过专用设备如 F-Tablet 来采集丰富的书写信息,同时简化了笔纸墨物理属性设置,来实现仿真的实时交互. 这类方法需要用户购买专用设备,而且不便推带,大范围推广使用有难度. 为了让书法书写仿真更加简单实用, Chao Guo^[19]等一方面借助外设如电子笔或多点触控设备来实现良好的交互性,另一

方面用 B 样条线获得了更好的平滑笔迹. 但是在大多数场合,用户的计算机屏幕并不支持多点触控.

因此,本文提出的手写书法仿真方法与上面有所不同,它是基于运笔速度采样笔迹信息,并根据采样到的信息进行笔迹轮廓快速建模,不仅不需要依赖专用设备,而且仿真速度快,具有更广泛的应用价值.

2 本文算法

基于运笔速度的手写书法仿真首先是根据运笔速度计算笔迹的外围多段多边形,然后根据起笔和落笔的大小加上笔峰效果,最终完成每笔的书法仿真效果. 如下图 1 所示,该方法分四步实现. 第一步以一定的频率采样笔迹点,并计算各点之间的距离;第二步根据距离和位置信息计算笔迹扩散效果点;第三步用贝赛尔曲线连接各扩散点并构造起笔和末笔笔峰曲线;第四步填充曲线围成的多边形实现书法仿真.

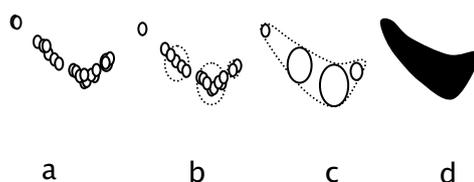


图1 本文算法实现过程

图 1 的 a、b、c、d 表示算法的实现过程. 图 a 表示采样到的笔迹点,其中的小圆圈表示手写轨迹采样点,由于用户在手写过程存在轻微抖动,所以会出现个别点偏离笔迹轨迹,另外点越多,表示用户此时绘制的越慢. 图 b 中大圆圈表示基于笔迹点的位置关系计算出的笔迹扩散效果. 图 c 表示用贝赛尔曲线连接各点并加上起笔和末笔笔峰效果得到的笔迹外围多边形. 图 d 是最后的书法仿真效果. 方法实现步骤如下:

(1)采样笔迹点. 当计算机以一定的速度采样用户的手写笔迹时,不同的采样频率会得到不同的采样点信息. 如下图 2 所示,从左到右表明,当采样的笔迹点越多,计算得到的多边形曲线越平滑.

正如第一行的第一个图所示,当采样到的点仅为两点时,多边形是一个矩形没有任何弧度. 最后一个图表示,当采样点为整个笔迹长度时,得到是一个圆形.

(2)仿真各点的笔迹扩散效果. 用法在手写过程中,计算机进行实时采样,尽管采样频率决定了获得笔迹

点的数量,但采样两邻点的距离可以分为三种情况:如下图 3 所示.距离很少(手写抖动)、距离较少(手写变慢)、正常手写.

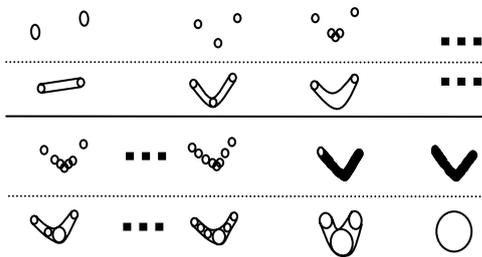


图 2 不同频率下的采样信息

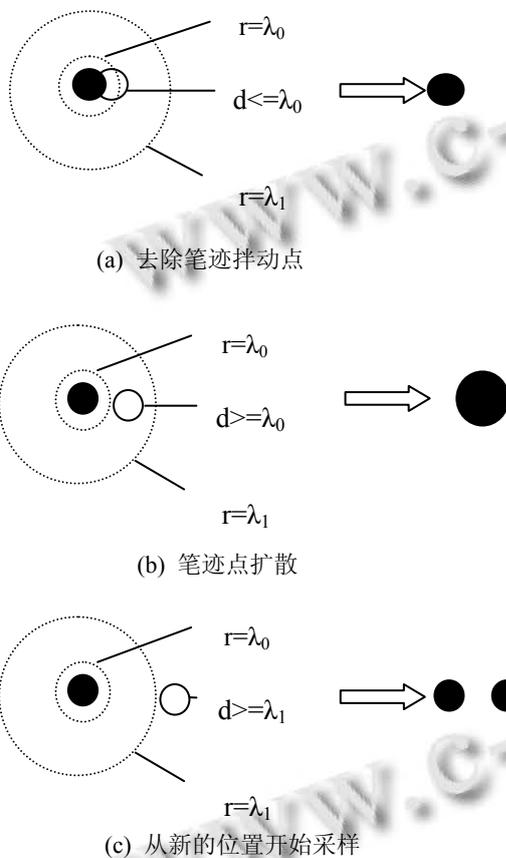


图 3 仿真笔迹点扩散效果

图 3(a)表示去除手写抖动点;图 3(b)表示笔迹点扩散,扩散中心点取两相邻采样点的连线中点,扩散半径为笔宽加上一个停留时间参数;图 3(c)表示从第二个点开始重新采样计算.

上面描述可用如下代数式表示:

$$\begin{cases} P = p_0, d \in \{-\infty, \lambda_0\} \\ P = p_0 + kd, d \in \{\lambda_0, \lambda_1\} \\ P = p_0 + kd, d \in \{\lambda_1, +\infty\} \end{cases}$$

上面代数式的第一个分式计算图 3(a)的情形,表示笔在原点(移动距离很小);第二分式计算图 3(b)情形,表示用户在该当点有时间上的停顿,也即在交互过程中存在笔迹的扩宽;第三个分式计算图 3(c)的情形,表示用户快速滑动笔迹,因此采样判定为两个采样点,第一个采样点的计算方法和第一个分式计算方法相同,第二个采样点的计算按照具体要求使用分式 1 或分式 2 的计算方法.上述分式各参数中的 p_0, p_1 表示采样到用户笔迹点的位置, P 表示用分式计算得到扩散后的笔迹点效果, d 是采样到笔迹两点的实际距离, λ_0 是用户设定的笔迹点抖动距离阈值, λ_1 是判断是否需要进行笔迹点扩散的阈值. k 是设置参数,与移动距离 d 共同用于计算关键点宽度的大小.笔迹的采样开始以用户落笔作为起点(如按下鼠标左键)开始,并将用户当前输入位置作为初始点记 P_0 ,然后隔一个时间段 Δt ,采样第二个点记为 P_1 ,然后计算 P_0 与 P_1 之间的位置 d ,再根据公式(1)计算笔迹扩散点 P ,当用户提笔时(如松开鼠标左键)完成整个笔迹点墨水扩散效果.通常用户选择画笔越大,绘制速度越慢,笔迹的扩散速度越快,因此采样频率应与画笔大小成反比, λ_0, λ_1, k 应与画笔大小成正比.通常设置采样频率 $f_s = w * 50$, $\lambda_0 = 1 + [w/5]$, $\lambda_1 = w$ 和 k 最常数 0.5,当然用户也可以根据自身的手写速度习惯设置不同的参数.

$$\begin{cases} P = p_0, d \in \{-\infty, \lambda_0\} \\ P = p_0 + kd, d \in \{\lambda_0, \lambda_1\} \\ P = p_0 + kd, d \in \{\lambda_1, +\infty\} \end{cases} \quad (1)$$

(3) 绘制笔迹外围曲线多边形.采样获得计算笔迹点后,则按照下图 4 描述的方法绘制笔迹的外围曲线多边形.计算过程利用二次贝塞尔曲线模拟用户的手绘轨迹,已知二次贝塞尔曲线的方程如下公式(2):

$$C_t = (1-t)^2 C_0 + 2t(1-t)C_1 + t^2 C_2, t \in [0, t] \quad (2)$$

C_0, C_1, C_2 作为贝塞尔曲线的控制点,它表示用户绘制笔迹方向上的 3 个相邻点,如下图 4 所示, $C_0 C_1 C_2$ 和 $C_3 C_4 C_5$ 分别为两边的贝两条塞尔曲线的控制点. t 为采样参数,显然 t 值的大小决定笔迹平滑度, t 越小,线条越平滑.获得塞尔曲线控制点的步骤如下:

① 以一定的采样频率 f_s 根据公式(1)获得扩散后的笔迹点,如上图 4 所示 P_0, P_1 和 P_2 三个圆所示.

② 作三个圆的切线 $C_0 C_1, C_1 C_2, C_3 C_4$ 和 $C_4 C_5$ 交圆于 C_1, C_4 为切线和交点, C_0, C_2, C_3 和 C_5 为切线与圆的交点.

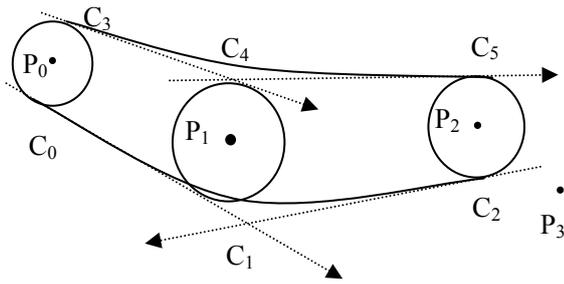


图 4 绘制曲线多边形方法

③ 已知点 C_0 、 C_1 和 C_2 ，设 $n=1/\Delta t, i=0 \dots n$ 循环执行公式(3)绘制笔迹外围二次贝塞尔曲线 $\sim C_1 C_1 C_2$ ；同理绘制笔迹内缘二次贝塞尔曲线 $\sim C_3 C_4 C_5$ 。

④ 填充曲线多边形 $C_0 C_1 C_2 C_3 C_4 C_5$ 。

⑤ 循环执行(1)~(4)，直到用户输入停止。如鼠标按下左键拖拽循环执行，释放停止。

上面填充的 $C_0 C_1 C_2 C_3 C_4 C_5$ 所构成的曲边形即为仿真的用户手写书法仿真笔划。另外为了让笔迹的起笔和结束笔同样体现书法的笔峰效果，在绘制 $C_3 C_0$ 和 $C_2 C_5$ 连接段加上笔峰外围曲线，如下图 5 所示两端的虚线。

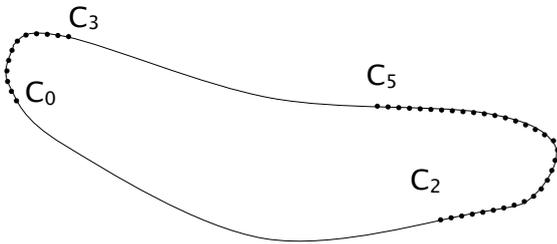


图 5 起笔和末笔加上笔峰效果

由上面的实现步骤可知，整个仿真计算时间复杂度为 $O(n)$ ，仿真时间由采样频率和绘制曲线参数来决定。为了平衡仿真的效果和速度，算法需要根据计算机的性能和用户书写速度来选择合适的采样频率，或者让用户根据自身的书写习惯调整参数以达到良好的书法仿真效果。

3 实验效果与分析

在本节中，首先我们用不同参数演示手写相同文字的不同仿真效果，然后对比分析我们方法与其它方法的不同点。

选择参与实验计算机的显示器分辨率为 1024×768 ，CPU 为 2.4GH，最高分辨率为 1000dpi 的光电鼠标，对含有常见笔划的汉字，用不同画笔大小、采样频率

进行了测试。下表 1 给出了不同采样频率下的文字手写书法仿真效果。

表 1 不同参数的汉字手写书法仿真效果

测试样	w=3px	w=5px	w=9px
例	fs=150	fs=250	fs=450
书			
法			
仿			
真			

上表 1 表示，画笔选取越大，采样频率、抖动参数 λ_0 、笔迹扩散参数 λ_1 应越大，这与现实中用户用书法笔如毛笔书写文本效果类似，毛笔越粗，用户绘制的速度会相对变慢，而且墨水的扩散效果越明显，所以本方法很好地仿真了书法笔的书写效果。

将本文的方法与文献[18]、文献[19]等人实现的方法进行比较，尽管只采用鼠标输入，但是无论在笔划细节还是整体效果都获与文献[18]和文献[19]相差无几。表 2 给出了三种方法在依赖输入设备、文字笔划细节和整体效果三个方面的对比信息。

表 2 典型原笔迹仿真方法比较

方法名称	采取信息方法	笔划细节	整体效果
我们的方法	运笔速度		
文献[18]	F-Tablet		
文献[19]	力反馈		

上表 3 表明本文方法与文献[18]、文献[19]比较而言，本方法所使用的采集方法最简单，即只需要借助普通鼠标即可实现书法书写仿真，而文献[18]、文献[19]等方法需要力反馈设备或专用手写笔 F-Tablet 来实现。笔划细节列表表明本文方法为了提高仿真速度，在笔画起笔和落笔作了更快捷的拼接运算，没有进行更细腻仿真，但是整体度与文献[18]、文献[19]相差无几。

不同的参数决定了不同的手写书法仿真效果，在实际应用场景中，用户只需要开始反复训练几次，就

可以适应系统默认的设置参数进行书法书写。当然,用户也可以根据系统提供的参数设置功能选择合适的参数以迎合自身的手写习惯。

4 结语

用户往往需要在普通计算机、笔记本和大型精度不高的单点触控屏幕上进行书法书写。本文提出的基于运笔速度的手写书法仿真方法可以很好地满足这种场景应用需求。该方法对用户手写的笔迹点进行采样,然后依据它们的位置信息仿真书法笔划效果。实验也表明这种方法不需要额外的辅助设备,就能满足用户实现较好的书法书写需求。由于本算法是基于手写速度实现仿真,因此用户手写速度太快时,算法仿真笔划的细腻效果有所欠缺,尽管算法可以提供撤销功能实现重写,但依然会影响用户的手写体验,这是本方法的不足之处,也是今后努力要解决的问题。

参考文献

- 1 刘要华,朱珍民,叶剑.协同人机交互机制的研究与设计.计算机工程与设计,2014,35(2):726-730.
- 2 Pedersen ER, McCall K, Moran TP, Halasz FG. Tivoli: An electronic whiteboard for informal workgroup meeting. Proc. of the ACM INTERCHI'93 Conf on Human in Computing Systems. 1993. 391-398.
- 3 Elrod S, Bruce R, Gold R, Goldberg D, Halasz F, Janssen W, Lee D, McCall K, Pedersen E, Pier K, Tang J, Welch B. Live-board: A large interactive display supporting group meetings, presentations, and remote collaboration. Proc. of the ACM Conf on Human Factors in Computing Systems. 1992. 599-607.
- 4 Gross MD. The electronic cocktail napkin-A computational environment for working with design diagrams. Design Studies, 1996, 17(1): 53-69.
- 5 Landay JA. SILK: Sketching interfaces like crazy. Proc of Human Factors in Computing System. ACM Vancouver, Canada. 1996. 398-399.
- 6 Melkemi M, Cordier F, Sapidis N. A provable algorithm to detect weak symmetry in apolygon. International Journal of Image and Graphics, 2005, 13(1): 1-28.
- 7 Costantini P. Properties and applications of new polynomial spaces. International Journal of Wavelets, Multiresolution and Information Processing, 2006, 4(3): 489-507.
- 8 陈颢,朱福喜.结合模糊支持向量机的曲线类比在书法风格仿真中的研究.中国图象图形学报,2010,15(2):340-345.
- 9 Prasad S, Verma GK, Singh BK, et al. Basic handwritten character recognition from multi-lingual image dataset using multi-resolution and multi-directional transform. International Journal of Wavelets Multiresolution & Information Processing, 2012, 10(5): 365-376.
- 10 Guo Q, Kunii TL. Modeling the diffuse paintings of 'sumie'. Proc. of the IFIP WG Working Conference. Berlin: Springer. 1991. 329-338
- 11 Zhang Q, Sato Y, Takahashi JY, et al. Simple cellular automation-based simulation of ink behavior and its application to suibokuga-like 3D redering of trees. The Journal of Visualization and Computer Animation, 1999, 10(1): 27-37.
- 12 Lee J. Simulating oriental black-ink painting. IEEE Computer Graphics & Application, 1999, 19(3): 74-81.
- 13 Xu S, Lau FCM, Tang F, Pan Y. Advanced design for a realistic virtual brush. Computer Graphics Forum, 2003, 22: 533-542.
- 14 余斌,孙济洲,白海飞,等.基于纸的物理建模的水墨画扩散效果仿真.系统仿真学报,2005,17(9):2305-2309.
- 15 Molina J, Escudero-Violo M, Signoriello A, Pardàs M, Ferrán C, Bescós J, Marqués F, Martínez J M. Real-time user independent hand gesture recognition from time-of-flight camera video using static and dynamic models. Machine Vision and Applications, 2013: 239-246.
- 16 Yu YJ, Lee DH. Interactive rendering technique for realistic oriental painting. Journal of WSCG, 2003, 11(3): 538-545.
- 17 Ahsanullah, Mahmood AKB, Sulaiman S, et al. Research design for evaluation of finger input properties on multi-touch screen. International Conference on Information and Communication Technologies. IEEE. 2011. 1-6.
- 18 陈海强,罗健飞,温国华,吴仲城.基于笔纸墨物理属性的毛笔书法仿真.计算机辅助设计与图形学学报,2012,24(09): 1135-1139.
- 19 Guo C, Hou ZX, Yang GQ. The simulation of the brush stroke based on force feedback technology. Mathematical Problems in Engineering, 2015, 2015(14): 1-10.