

点阵识别技术支持的 纸笔书法智能教学系统

□文 / 田雪松、张晓梅



田雪松

博士，北京拓思德科技有限公司 CEO，计算机视觉和教育大数据专家，数字光学点阵技术发明人，系列《中国基础教育大数据蓝皮书》作者。曾创立国内领先的教育大数据公司，并获得腾讯、中信等一线投资机构的投资。目前致力于智慧教室和课堂教学大数据的理论研究及产品实践。

华南师范大学教育信息技术学院博士研究生。主要从事教育人工智能、智慧教育、教育公平、纸笔书写等相关领域的研究。

张晓梅



在国家政策支持和教育主管部门大力推动下，书法教育日益得到重视。师资匮乏、课时不足、资源短缺、方法落后等原因，成为中小学开展汉字书法教育的主要因素，要达到全面实现规范写字、实用书写、理解文化的教学目标还面临巨大挑战。点阵识别技术和教育人工智能的结合，能够完美保护师生的书写行为与习惯，为纸笔课堂的信息化教学融合提供技术支撑和创新思路，在提倡教育教学智能化的教育信息化 2.0 时代具有广阔的应用前景。

一、背景

传统书法教育亟待改善 汉字书写规范政策频出

随着信息技术在教育领域广泛与深入的应用,流传千年的纸笔阅读与书写方式也在发生改变,利用键盘书写、通过屏幕阅读正变得越来越普遍和流行,纸笔作为曾经必备的教学书写介质,正在被各式各样的电子设备所取代。我国中小学生的汉字书写和应用能力出现衰退现象,甚至有学者认为我们正面临严峻的“汉字危机[1]”,许多人患上了“数码时代失写症”,“提笔忘字”已成为令人担忧的社会文化现象。为了规范汉字书写、提升汉字应用能力、传承中华优秀传统文化,近年来我国相关部门相继出台《义务教育语文课程标准(2011年版)》、《国家中长期语言文字事业改革和发展纲要(2012-2020年)》、《中小学书法教育指导纲要》(2013年)、《关于实施中华优秀传统文化传承发展工程的意见》(2017年)等一系列政策和文件,积极推进书写规范教学成为一门独立的课程体系。

书法教育进课堂困难大 教学软硬件条件待提升

现实中,教师在中小学书法教育课堂上通常只关注学生书写结果,缺乏对学生书写过程的跟踪与评价,导致许多学生在笔画形态、笔画间关系、字形结构、汉字字源等方面都存在理解误差。尤其对欠发达地区的学校来说,区域教育发展的不平衡为书法教学带来更多困难。例如,缺乏专业的书法教师而无法完成教学目标、缺乏科学的课程体系导致课程资源参差不齐、书法教学基础设施匮乏导致学生无法进行必要的书法练习等[2-5]。师资匮乏、课时不足、资源短缺、方法落后等原因,成为中小学开展汉字书法教育的主要因素,要达到全面实现规范写字、实用书写、理解文化的教学目标还面临巨大挑战。

数字时代书法教育出新招 汉字教学系统在探路

在师资队伍短期内无法培养和补充,区域教育发展不均衡带来书法教育水平城乡差异的情况下,书法教育相关的数字化教学系统提供了一个切实有效的解决方案。2016年,教育部在发布的《小学美术教学器材配备标准》中明确指出,将数字书法教学系统纳入小学办学器材标准配置。目前,从书写输入方式来看,常见的汉字书写系统有三类:第一类是以动画演示为主的汉字学习系统,这类系统大多只重视笔顺的练习[6-8],“笔画”并非学生原笔迹,实质上只是对汉字笔画顺序的正确排列或“描红”而已,并不能

[1] 严寅贤. 化解“汉字危机”须从中小学开始 [N]. 中国教育报, 2010-09-17(002).

[2] 陈小娟. 小学书法教育现状的调查与研究 [D]. 扬州大学, 2017.

[3] 米文佐. “互联网+”语境下的中小学书法教育 [J]. 电化教育研究, 2018, 39(09): 109-113+128.

[4] 田臻. 小学书法教育现状分析及解决办法 [J]. 美术教育研究, 2016(06): 116-117.

[5] 赵天. 小学书法数字化辅助教学平台的设计与实现 [D]. 北京工业大学, 2014.

[6] 刘丹青, 任翔. 对外汉语中汉字笔顺教学软件的设计与实现 [J]. 中国教育信息化, 2010(11): 50-53.

[7] 王素坤, 赵希武. 汉字笔画系统辅助小学语文汉字教学的研究 [J]. 内蒙古师范大学学报(教育科学版), 2013, 26(04): 147-149.

[8] 李丹丹. 留学生汉字书写移动学习平台的设计分析 [D]. 渤海大学, 2015.

实现学生的书写练习；第二类是基于触摸屏书写的书写教学系统，这类系统利用数字化的交互式一体机触摸屏、可视手写屏等硬件设备再现书写笔迹与过程 [9,10]，可支持汉字书法日常教学；第三类是保留了纸笔书写方式的汉字教学系统，该类系统在不干扰或改变学生正常纸笔书写的基础上，借助笔迹提取与汉字识别技术，实现书写笔迹与过程的数字化 [11]。其中，笔迹提取技术又包含图像识别技术和点阵识别技术两类，由于这类系统保持了纸笔自然书写的习惯，在中小学生的汉字教学中应用效果最佳。

二、易文汉学智能书法教学系统

易文汉学智能书法系统属于上述第三类书法教学系统，是借助点阵识别、笔迹识别、学习分析和机器学习等技术，实现手写笔迹的提取和手写汉字的识别，并依托智能教学系统支持师生开展基于纸笔书写的硬笔书法教学，是传统硬笔书法教学与教育信息化的融合创新。该系统包含资源系统、备课系统、教学系统和评价系统四大功能模块，支持教师授课、资源调用、教学互动、书法展示、智能评价和考试测评等具体教学场景，为中小学硬笔书法教学“教、学、练、评、考”各环节提供全方位的支持服务。

在课堂上，学生手持智能书写笔（与普通书写笔类似）在点阵课本上自然书写，书写笔迹实时呈现到电脑或投影终端，教师可同时监控所有学生的书写过程，可任意调取一位或多位学生的书写作品进行多种形式的案例解说。在整个教学过程中，教师可随时调阅硬笔书法教学资源进行拓展讲解或示范展示，其中嵌套的汉字智能评价系统可为学生的书写做出智能评价并给出反馈意见。

资源调用——系统嵌套丰富的书法课程资源

教师在使用书法教学系统时可获取系统自带的课程资源，包括与部编版语文教材的识字写字教学要求保持一致的写字课程、以书法艺术为追求的分级书法课程和 3500 个汉字字库动画，动画包含汉字音形意、汉字典故、专家书写视频、书写规范、书写问题解析等内容。同时，系统还支持教师使用数码笔和点阵课本自行制作课程资源，并上传至云服务器供后续使用。教师可在课前备课或课堂授课阶段随时通过互联网调用这些资源，这些资源同时也可以开放给学生和家长使用。



图 1: 汉字课程资源

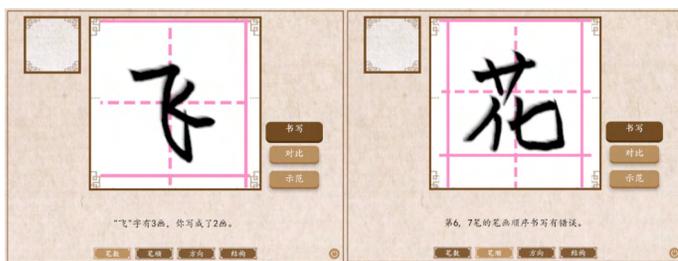
[9] 黄峰,高楠楠,仇宏斌,李艺. 触摸屏书写汉字之工整性与纸张书写相关性实验——以南京市某小学三年级学生为例[J]. 中国电化教育,2015(11):121-126.

[10] 马雨晴,宋春晓,许明月,李艺, QIU Hong-bin. 结合智能评测系统应用的师范硬笔书法教学方案设计[J]. 现代教育技术,2018,28(12):101-107.

[11] 余佳航. 基于计算机视觉的原笔迹提取与汉字识别研究[D]. 华中师范大学,2018.

智能评价——自动生成书写汉字的综合评价

易文汉学智能书法教学系统在实现纸笔书写数字化的基础上，借助字库技术、笔迹识别技术、汉字建模技术等实现师生书写汉字的过程和结果的自动评价，评价包含笔画数、笔画顺序、笔画方向、书写空间结构等维度。在操作中，选中任一学生或老师在田字格中的书写汉字，点击“智能评价按钮”，系统会自动生成反馈信息，并推送相关的数字资源。

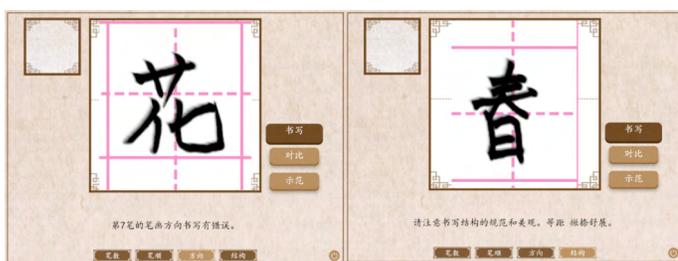


笔画数评价

笔画顺序评价

课堂互动——提升反馈时效性与互动多向性

教师在授课时的自然书写笔迹即时呈现在电子白板或交互式一体机上，方便教师对学生开展基于真实书写的



笔画方向评价

笔画结构评价

图 2：书写智能评价

板书教学。教师书写的过程与结果被自动记录下来，支持反复观看。

学生的纸笔书写笔迹也被系统自动记录下来，教师可在系统中同时观察或调取任一学生的书写笔迹，以集中展示、单人展示或多人比较的方式解剖学生的书写特点与错误，通过分享、对比、讨论等方式促进学生互动交流。

学习分析——支持过程性跟踪与个性化指导

基于点阵识别技术的易文汉学智能书法教学系统在实现书写笔迹的智能识别基础上，还对课堂练字、



图 3：书写多屏即时展示

随堂听写、课后作业和字词听写等书写过程与结果数据进行数字化管理与智能分析。支持教师自定义学生书写评价维度，并生成精准的书写分析报告；支持学生进行汉字听写与测试，一键完成评阅工作，快速提供评阅成绩与统计分析报告；支持学生书写的过程性跟踪，练字过程与数据报告自动保存，随时调阅与回放，记录并保存每个学生的书写成长数据。

易文汉学智能书法教学系统完全保留传统书法教育的特征，还原真实的书法教学场景。传统纸笔书写方式与信息化教学的融合，既保证了学生书写与信息化呈现的同步，也为课堂互动增加更多可能性和开放性。丰富的教学资源 and 自动化评判功能，极大地降低了教师备课成本与压力，在促进书法教师专业成长的同时，更承担了看不见的“智能书法老师”角色，这为解决欠发达地区学校师资匮乏的问题，提供了很好的信息化解决方案。同时，学习分析技术的应用为了解每一位学生的书写特点提供了参考，为教师开展数据驱动的教学诊断、教学介入和改善教学，为学生自我评估和自我调整的学习提供数据驱动的个性化服务。易文汉学智能书法教学系统自2018年初正式投入课堂使用，短短1年多的时间已进入了1500多位教师的书法课堂，用户遍布全国25个省市自治区，课程资源的周访问量达万余次。

三、主要技术原理

数码笔

在书法教学系统的使用过程中，连接纸笔书写和数字化呈现的是一支看似普通的书写笔——数码笔（Digital Pen）。数码笔的使用感受与普通书写笔类似，因此不会给学生造成负担。数码笔的内部结构则别有洞天，通常由笔壳、笔芯、高速摄像头、压力转换器、处理器、存储器、电池、蓝牙或USB通信单元等元器件组成。配合数码笔使用的纸必须是印刷了点阵图案的普通纸张，点阵图案非常细小甚至不可见，因此并不影响纸张外观和书写。

点阵技术

点阵由按照特殊算法规则排列的细小点组成，多个点阵构成点阵资源。对点阵中的每个点进行编码就得到点阵编码序列，用来代表特定的坐标位置信息。将点阵资源加载在原始文件后，实际上是将点阵信息赋值在原始文件中，建立点

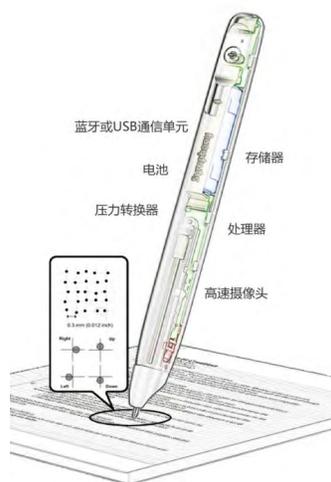


图4：数码笔内部构造

阵资源和原始文件的对应关系。数码笔在点阵编码文件上移动可得到运动轨迹的点阵数据，将点阵数据实时发送给接收端并调用其对应关系，识别轨迹显示在点阵编码文件的相应位置上，从而实现书写笔迹的数字化存储和显示。

光学技术

光学技术是计算机辅助视觉识别和信息读取的手段。其工作原理是：数码笔笔尖按压后，压力传感器被触发，产生落笔事件，笔尖高速摄像头开始采集书写轨迹，形成原始图像数据；原始图像数据经笔内专用解码芯片进行处理，得到书写轨迹的坐标点及坐标页地址，产生书写坐标事件；数码笔抬笔后，压力传感器复位，产生抬笔事件。上述过程产生的事件数据经数码笔芯片转换加密为二进制数据，并通过 USB 或无线的方式传输给接收端。接收端接收到数据后，对二进制数据进行解密还原，形成字面可读易理解的数据。与依赖于噪点数字图像的传统 OCR 和 ICR 技术不同，基于光学点阵技术的书写内容在实现数字化的过程中以矢量数据进行交换和处理，数据存储压力得到极大释放，数据同步或异步传输的速度也得到相应提高。

手写体识别技术

手写字迹的识别可分为输入序列、笔段提取、笔段编码、隐马尔科夫模型（Hidden Markov Model, HMM）识别、输出结果五个步骤，其中输入序列指的是借助点阵识别技术输入书写笔迹的点阵坐标序列；笔段提取指的是借助二值拐点检测算法识别书写笔迹的转折点；笔段编码指的利用主成分分析（Principal Component Analysis）对笔段数据进行降维，将支持向量机（Support Vector Machine）作为笔段识别的分类器，对笔段进行六类编码从而得到输入 HMM 的观察序列；HMM 识别指的是将待识别的笔段输入利用 Baum-Welch 算法得到的 HMM 模型，再利用 Viterbi 算法匹配输出概率最大的模型所对应的汉字作为识别的结果。

汉字建模与评价技术

通过对计算机字库的拆分与重新建模，建立基于笔画单元的数据结构的汉字字库，包括笔画的数量、笔画顺序、笔画方向、笔画、位置等，结合不同字体、不同书法家的字库特点实现个性化配置，从而获得标准的汉字书写结构形态数据库。以重新建模的数据库为基础，并结合点阵笔书写时获取的精细化动态实时数据，系统通过自动识别书写笔画数和书写方向来校验笔画数、判断运笔方向；通过捕捉书写的准确时间来校验笔画顺序的有效性，以判断是否出现倒插笔的情况；通过与数据库中不同字体和不同书法家书写规范进行智能匹配，为学生的书写提供综合性的指导意见，由此完成汉字书写的智

能评价。

四、教育应用前景

点阵识别技术和教育人工智能的结合，能够有效保护师生的书写行为与习惯，为纸笔课堂的信息化教学融合提供技术支撑和创新思路，在提倡教育教学智能化的教育信息化 2.0 时代具有广阔的应用前景。

纸笔书写依然具有庞大的市场需求

虽然教育信息化已成为教育发展的必然趋势，但世界范围内的学习场景，尤其是学校，纸笔书写依然是最主流的写作工具 [12]。不论是课堂教学还是校外自主学习都存在大量以书写为表现形式的输入输出行为，这些行为包括教师的备课、作业批改、教学总结和学生的作业、笔记、考试等。事实上，纸笔书写是师生互动的最常用沟通媒介。尤其在国家大力倡导保护中国传统文化，大力推动书法教育进校园的时代背景下，传统的纸笔书写依然具有庞大的消费市场。

符合教育信息化融合创新的价值取向

基于点阵技术的纸笔书写的本质是增强而不是替代纸笔书写，是让传统的纸笔书写得到信息技术的赋能。具体来说，纸笔书写技术与信息化教学的融合创新表现在打通环节、衔接应用、提高互动、完善数据等方面，可有效支持翻转课堂、双师课堂、混合教学、移动学习等信息化教学，有利于教学模式创新。既返璞归真又灵活智能的数字纸笔应用，非常符合信息化教学实践价值取向所倡导的以人为本、无感交互和极简教育技术等特征。



查看内容精选

[12]Graham S, Rijlaarsdam G. Writing education around the globe : introduction and call for a new global analysis[J]. Reading & Writing, 2016, 29(5):1-12.