

写字机器人签名字迹与自然人签名笔迹重合概率比较研究^{*}

郭媛媛

1. 华东政法大学, 上海;
2. 司法鉴定科学研究院, 上海

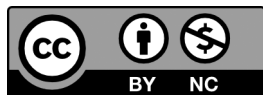
摘要 | 目的: 本文通过实验研究写字机器人签名字迹与自然人签名笔迹的整体重合、单字重合和偏旁重合概率, 探究影响重合概率的具体因素及相关原因。方法: 收集 50 组自然人签名笔迹, 制备写字机器人签名字迹摹本, 并使用曲关节型写字机器人和直线关节型写字机器人分别书写机器人签名字迹实验样本。使用 PHOTOSHOP 软件对写字机器人签名字迹与自然人签名笔迹进行重叠比较检验。结果: 写字机器人签名字迹与自然人签名笔迹均有不同程度的单字重合、偏旁重合, 但并非所有字迹都能与自然人笔迹整体重合。结论: 影响重合概率的因素有多种, 既有自然人签名笔迹本身性质原因, 同时也是机器人书写过程中众多因素综合作用的结果, 研究与实践中应予以关注并分析具体原因。

关键词 | 写字机器人签名字迹; 整体重合概率; 单字重合概率; 偏旁重合概率

Copyright © 2021 by author (s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



自然人书写的多个签名笔迹之间会出现不同程度的重合, 但无法做到完全重合, 因为自然人在正常状态下无法做到两次书写的笔迹完全相同。但同一台写字机器人书写的字迹具有机械重复性, 以自然人签名笔迹为摹本产生的写字机器人签名字迹, 其外观与摹本笔迹高度相似, 但是否可以达到完全相同? 重现率如何? 是理论研究中值得探讨的问题。对写字机器人签名字迹与自然人签名笔迹的重合概率进行研究, 可为进一步探索写字机器人签名字迹的规律性特点奠定基础。

一、引言

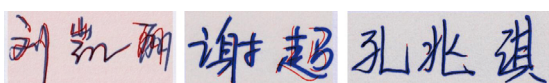
重合比对是文件鉴定中常用的检验方法, 何谓

“重合”, 以及重合的分类等是理论和实践中需要厘清的概念。重合是指检材和样本之间的重叠现象, 签名字迹的重合是指确定签名的相对位置后, 整个签名、相对应的单字或单字内部偏旁之间重合的现象^[1] (如图 1)。根据重合部分的多少并结合汉字的结构, 可将重合分为三类: 即整体重合、单字重合和偏旁重合。整体重合包含单字重合和偏旁重合、单字重合包含偏旁重合。其中, 重合程度最

^{*} 基金项目: 教育部科技部司法鉴定技术应用与社会治理学科创新基地项目 (FSSGL2021D-01)。

[1] 陈晓红. 司法笔迹鉴定 [M]. 北京: 科学出版社, 2018.

高的为整体重合、重合程度最低的为偏旁重合。重合概率，是指签名重合的可能性大小。依据上述分类可具体将重合概率分为整体重合概率、单字重合概率和偏旁重合概率。若一份有 n 对签名的样本中， a 对签名整体重合， b 对签名单字重合， c 对签名偏旁重合，则该样本的整体重合概率 $P_a=a/n \times 100\%$ ，单字重合概率 $P_b=b/n \times 100\%$ ，偏旁重合概率 $P_c=c/n \times 100\%$ 。



(蓝色代表自然人签名笔迹，红色代表机器人签名字迹)

图1 偏旁重合、单字重合、整体重合示意图

写字机器人签名字迹对自然人签名笔迹的复现率是指机器人签名字迹与自然人签名笔迹整体重合的程度，复现率最大值为 100%，表示机器人签名字迹与自然人签名笔迹整体完全重合，机器人能完全复现自然人签名笔迹。整体重合概率越大，复现率越高。

二、材料与方法

(一) 实验材料

1. 写字机器人实验设备统计

本实验选用两台书写质量较高的写字机器人，分别为 DOBOT 写字机器人(以下简称“机器人 D”)和框架型写字机器人(以下简称“机器人 K”)。两台机器工作原理不同，机器人 D 为曲关节型写字机器人，机器人 K 为直线关节型写字机器人。机器人 D 为四自由度机械臂写字机器人，机器人 K 由三条滑道组成，系使用滑道上安装的步进电机实现控制书写工具的移动方向和范围，从而完成起、收笔和行笔的运动轨迹，两者的具体参数详见表 1。

表 1 写字机器人参数对比

	机器人 D	机器人 K
种类	曲关节型写字机器人	直线关节型写字机器人
机械臂	四自由度机械臂	三条滑轨组成
执笔角度	90° (不可调整)	45° (不可调整)
配套软件	DobotStudio	奎享字体、奎享雕刻

2. 自然人签名笔迹信息统计

本实验共收集 50 人 / 次的自然人正常书写状态下的签名笔迹，分别命名为 G1-G50，自然人签名笔迹相关统计信息详见表 2，并以此制作写字机器人签名字迹摹本。

表 2 自然人签名笔迹信息统计表

序号	签名文字种类 ^[1]	签名写法 ^[2]	签名布局 ^[3]	签名书体 ^[4]	签名字形 ^[5]	书写速度 ^[6]
G1	中文签名	全称签名	斜式签名	楷书签名	方形字	中
G2	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	方形字	中
G3	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	方形字	中
G4	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	扁形字	中
G5	中文签名	全称签名	横式签名	行书签名	圆形字	快
G6	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	圆形字	中
G7	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	方形字	慢
G8	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	方形字	慢
G9	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	方形字	中
G10	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	长形字	中
G11	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	方形字	慢
G12	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	方形字	中
G13	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	长形字	快
G14	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	方形字	慢
G15	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	方形字	慢
G16	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	扁形字	中
G17	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	方形字	中
G18	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	方形字	中
G19	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	方形字	中
G20	中文签名	符号签名	横式签名	行书签名	圆形字	快
G21	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	方形字	慢
G22	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	方形字	中
G23	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	方形字	中

[1] 签名文字种类，按签名使用的文字分类，包括中文签名、汉语拼音签名、少数民族签名和外文签名。

[2] 签名写法，按签名表达方式分类，包括全称签名、简写签名和符号签名。

[3] 签名布局，按照签名内部单字排列组合关系分类，包括横式签名、竖式签名、斜式签名、重叠式签名、组合式签名和反向签名。

[4] 签名书体，按照签名的中文书体分类，包括楷书签名、行书签名、草书签名、隶书签名和篆书签名等。

[5] 签名字形，按照签名单字外部轮廓呈现出的形态，包括方形字、长形字、扁形字和圆形字。

[6] 书写速度，可分为快、中、慢、缓慢等不同等级。

续表

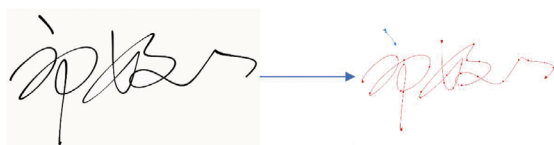
序号	签名文字种类	签名写法	签名布局	签名书体	签名字形	书写速度
G24	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	方形字	快
G25	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	方形字	中
G26	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	圆形字	快
G27	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	圆形字	快
G28	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	方形字	中
G29	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	圆形字	快
G30	中文签名	符号签名	横式签名	行书签名	圆形字	快
G31	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	方形字	中
G32	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	方形字	慢
G33	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	方形字	慢
G34	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	方形字	中
G35	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	方形字	中
G36	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	方形字	中
G37	中文签名	符号签名	横式签名	行书签名	圆形字	快
G38	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	圆形字	快
G39	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	圆形字	快
G40	中文签名	符号签名	斜式签名	行书签名	圆形字	快
G41	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	圆形字	快
G42	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	圆形字	快
G43	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	方形字	快
G44	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	方形字	中
G45	中文签名	符号签名	横式签名	楷书签名	扁形字	中
G46	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	方形字	中
G47	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	方形字	慢
G48	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	圆形字	快
G49	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	圆形字	快
G50	中文签名	全称签名	横式签名	楷书签名	方形字	慢

本实验所用书写工具为樱花(SAKURA)牌滚珠式黑色中性笔,笔幅0.6 mm。所用纸张为史泰博复印纸,纸张质量为70 g/m²。

(二) 实验方法

1. 写字机器人签名字迹实验样本制作方法

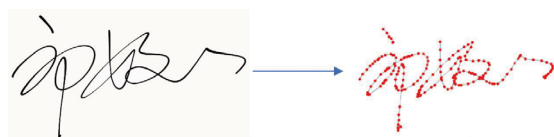
机器人D签名字迹实验样本制作分为摹本制作与书写签名字迹两部分。以表2中所列50组自然人签名笔迹为摹本,运用CorelDRAW 2020软件制备写字机器人签名字迹摹本。将扫描后的自然人签名字迹图片(png格式)导入CDR中,运用“钢笔”工具进行笔迹轮廓临摹,临摹完成后生成矢量化图形并保存输出PLT格式文件。^[1]将PLT文件导入DobotStudio软件中,机器人D执书写工具于纸张上书写规格分别为25 cm、35 cm、50 cm、60 cm、75 cm的机器人签名字迹。(如图2)



(左图为自然人签名字迹、右图为矢量化图形)

图2 自然人签名字迹(G20)矢量图形转换示例

机器人K签名字迹实验样本制作方法略微复杂,也分为摹本制作与书写签名字迹两部分。摹本制作运用奎享字体软件,创建机器人字库。选择参照背景,导入自然人签名笔迹图片作为参照背景。使用笔刷工具,笔刷路径简化设置为“1”,路径粗细设置为“0.5”,路径缩放单位设置为“0.2”。而后使用笔刷工具进行笔迹轮廓临摹、调整,完成机器人书写字库建设。书写签名字迹时,机器人K可设置字体变形功能^[2],随机改变字体大小、间距等。据此将机器人K书写的签名字迹分为两大部分,即未设置字体变形的字迹(以下简称“机器人K-未变形”),和设置字体变形的字迹(以下简称“机器人K-变形”)。两种模式下,机器人K执书写工具分别于纸张上书写规格为25 cm、35 cm、50 cm、60 cm、75 cm的机器人签名字迹。(如图3)



(左图为自然人签名字迹、右图为机器人字库图形)

图3 自然人签名字迹(G20)字库创建示例

2. 检验方法

根据上述过程制作的机器人D签名字迹实验样本、机器人K-未变形字迹实验样本、机器人K-变形字迹实验样本分别与对应组别的自然人签名笔迹摹本进行重合比对研究,根据机器人的种类并结

[1] 郭媛媛,施少培. 曲关节型写字机器人签名笔迹特征的影响因素探究[J]. 刑事司法科学与治理, 2021, 2(1): 80-87.

[2] 字体变形功能中将随机大小、随机间距、随机垂直拉伸、随机水平拉伸取值均设置为95%~100%,随机倾斜度设置为-5°~5°。

合机器人书写字迹的特点，进一步总结两者的重合概率。

本实验所用检验方法为重合比对法。使用 photoshop 2020 正片叠底功能，以组为单位，组内书写规格为 25 cm、35 cm、50 cm、60 cm、75 cm 的机器人 D、机器人 K- 未变形、机器人 K- 变形字迹分别与自然人签名笔迹进行重叠比对，重合比对时锁定纵横比，等比例放大，并记录比对结果，共计比对 50 组 750 余个签名。之后按照机器人种类分为三大类，即“机器人 D”“机器人 K- 未变形”和“机器人 K- 变形”，分别计算各类书写字迹整体重合、单字重合和偏旁重合的概率；按照签名的书体分类分别计算不同签名书体整体重合、单字重合和偏旁重合的概率；按照签名的写法特征分类分别计算不同写法的签名整体重合、单字重合和偏旁重合的概率。若为整体重合，则计入在整体重合概率；若无整体重合、有单字重合，则计入在单字重合概率；若无整体重合、无单字重合、仅有偏旁重合，则计入偏旁重合概率。

三、结果与讨论

实验结果显示，不同机器人书写的签名字迹与自然人签名笔迹均有不同程度的重合。因此，本实验中，整体重合概率、单字重合概率、偏旁重合概

率之和为 100%。从机器人种类、签名的书体和书写速度、签名的写法三方面分别讨论两者的重合概率及影响重合概率的因素。

（一）机器人种类对重合概率的影响

如图 4 饼状图所示，就重合方式而言，机器人 D 存在三种重合方式；机器人 K- 未变形条件下，均为整体重合或单字重合；机器人 K- 变形条件下，无整体重合，仅存在单字重合与偏旁重合。就重合概率而言，在整体重合方面，机器人 K- 未变形的整体重合概率高达 98.4%，其次是机器人 D 为 15.2%，最后是机器人 K- 变形为 0；在单字重合方面，机器人 D 的单字重合概率为 56.4%，其次是机器人 K- 变形为 33.6%，机器人 K- 未变形为 1.6%。故虽是以自然人笔迹作为摹本，但写字机器人对自然人笔迹的复现率并非 100%，尤其是 K- 变形的整体重合概率为零，这主要是由于输入时设置字体变形所致。另外，机器人 D 整体重合概率远远低于未变形条件下的机器人 K，分析原因一是机器人机械臂书写过程中的相关因素所致，二是摹本制作过程中不准确导致未能完全重合。原因二在对制作的矢量图形摹本与自然人笔迹进行重叠比对后基本可以排除，故本实验中原因一是造成机器人 D 书写字迹对自然人笔迹复现率低的主要原因。

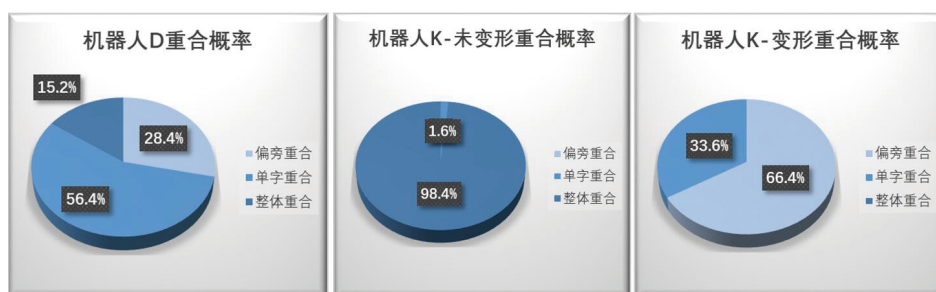


图 4 不同机器人签名字迹重合概率饼状图

分析写字机器人书写复现率并非 100% 的原因：机械臂的工作区域、执笔方式、书写压力、与纸张的摩擦力等因素易造成书写过程中的变形，虽概貌特征上高度相似，但无法与自然人笔迹整体重合。机械臂工作区域为扇形，越靠近扇形边缘的笔画重合率越低；执笔角度为 90° 且不可调节，书写压力较大在书写过程中与纸张的摩擦力较大，笔尖正常移动受阻，造成部分笔画书写过程中发生变形，难

以与自然人签名笔迹完全重合。（如表 3）

表 3 机器人签名字迹与自然人签名笔迹重合情况统计表
——以机器人种类为分类依据

	整体重合(a)	单字重合(b)	偏旁重合(c)
机器人 D (n=250)	38	141	71
机器人 K- 未变形 (n=250)	246	4	0
机器人 K- 变形 (n=250)	0	84	166

(二) 签名的书体和书写速度对重合概率的影响

签名的书体和书写速度往往相伴相随，一般而言，楷书签名的书写速度中等或较慢，行书签名的书写速度快。本文中，楷书签名（含机器人K-变形字迹）偏旁重合概率为29.2%，单字重合概率为32.9%，整体重合概率为37.9%。楷书签名（除机器人K-变形字迹）偏旁重合概率为11.8%，单字重合概率为31.3%，整体重合概率为56.9%。行书签名（含机器人K-变形字迹）偏旁重合概率为53.3%，单字重合概率为9.3%，整体重合概率为37.4%。行书签名（除机器人K-变形字迹）偏旁重合概率为36.0%，单字重合概率为8.0%，整体重合概率为56.0%。（如图5）

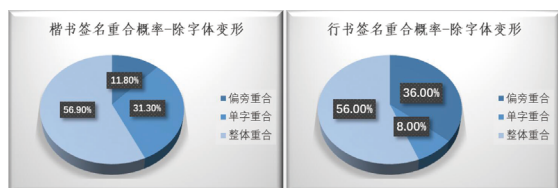


图5 不同书体签名字迹重合概率饼状图

无论是楷书签名或是行书签名，除去设置字体变形的机器人K签名字迹后，其整体重合概率均有极大提升。笔者认为除去字体变形的重合概率更能真实反映写字机器人对于自然人笔迹的复现程度，楷书签名和行书签名整体重合概率相似，但楷书签名单字重合概率远远高于行书签名。楷书签名内部，笔画数量较少、结构较为简单的单字，整体重合概率和单字重合概率较高。行书签名内部，单字重合概率远远低于偏旁重合概率，分析认为本实验收集的行书签名曲线较多、绕笔动作和连笔动作较多，故行书签名的单字重合概率远远低于偏旁重合概率。（如表4）

表4 机器人签名字迹与自然人签名笔迹重合情况统计表——以签名书体为分类依据

	整体重合 (a)			单字重合 (b)			偏旁重合 (c)		
	D	K-未变形	K-变形	D	K-未变形	K-变形	D	K-未变形	K-变形
楷书签名 (n=675)	35	221	0	137	4	81	53	0	144
行书签名 (n=75)	3	25	0	4	0	3	18	0	22

(三) 签名的写法对重合概率的影响

本实验中，全称签名（含机器人K-变形字迹）整体重合概率为38.4%，单字重合概率为32.7%，偏旁重合概率为28.9%。全称签名（除机器人K-变形字迹）整体重合概率为57.5%，单字重合概率为31.8%，偏旁重合概率为10.7%。符号签名（含机器人K-变形字迹）整体重合概率为33.3%，单字重合概率为10.7%，偏旁重合概率为56.0%。符号签名（除机器人K-变形字迹）整体重合概率为50.0%，单字重合概率为4.0%，偏旁重合概率为46.0%。（如图6）

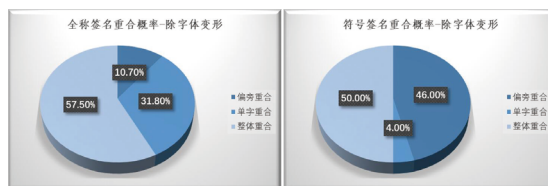


图6 不同写法签名字迹重合概率饼状图

在不考虑机器人K-变形字迹情况下，全称签名与符号签名整体重合概率相近，但全称签名的单字重合概率远高于符号签名。分析为符号签名曲线较多、单字结构较为复杂所致。（如表5）

表5 机器人签名字迹与自然人签名笔迹重合情况统计表——以签名写法为分类依据

	整体重合 (a)			单字重合 (b)			偏旁重合 (c)		
	D	K-未变形	K-变形	D	K-未变形	K-变形	D	K-未变形	K-变形
全称签名 (n=675)	38	221	0	139	4	78	48	0	147
符号签名 (n=75)	0	25	0	2	0	6	23	0	19

四、结论

通过对机器人书写签名字迹与自然人签名笔迹进行重叠比对研究，可得出以下结论：第一，写字机器人对于自然人签名笔迹的复现率并非100%，不同种类机器人其复现率不同。框架写字机器人（机器人K）未设置变形条件下的复现率高于DOBOT写字机器人（机器人D），机器人D复现率低的原因分析认为乃机械臂的工作区域、执笔方式、书写压力、与纸张的摩擦力等因素影响造成个别笔画变

形；框架型写字机器人（机器人K）设置变形条件下书写签名字迹与自然人签名笔迹难以达到整体重叠。第二，签名的书体、写法对于自然人签名笔迹的复现率有一定影响。本文收集的楷书签名其写法基本为全称签名，行书签名写法基本为符号签名。楷书签名的整体重合概率与行书签名相差无几，但楷书签名的单字重合概率远高于行书签名，分析为行书签名（符号签名）绕笔动作和连笔动作较多所致。虽然写字机器人签名字迹概貌特征上与自然人

笔迹高度相似，但两者并非均能整体重合，在研究及鉴定实践中应重点关注。本实验的不足之处在于：第一，两种类型写字机器人均只采用1台，在机器人种类与复现率的关系上未排除机器人偶然因素影响，第二，书写规格对于复现率的影响未进行分析。上述两处不足是需要进一步实验研究的方向。

（责任编辑：邹文奥）

A Comparative Study of the Probability of Handwriting Overlap Between the Signature Handwriting of Writing Robots and Natural People

Guo Yuanyuan

1. East China University of Political Science and Law, Shanghai;

2. Academy of Forensic Science, Shanghai

Abstract: Objective: This paper investigates the overall overlap, single character overlap, and partial overlap probabilities between the signature handwriting of a writing robot and that of a natural person, and investigates the specific factors affecting the overlap probabilities. Methods: Fifty sets of natural human signature handwriting were collected, facsimiles of the writing robot's signature handwriting were prepared, and experimental samples of the robot's signature handwriting were written using a curved-joint writing robot and a linear-joint writing robot, respectively. PHTOTSHOP software was used to compare the handwriting of the writing robot with the handwriting of natural persons. Results: The handwriting of the writing robot and the handwriting of the natural person both have different degrees of single character overlap and partial overlap, but not all handwriting can overlap with the natural person's handwriting as a whole. Conclusion: The factors affecting the probability of overlap are not only caused by the nature of the natural person's signature handwriting itself, but also the result of the combined effect of many factors in the robot writing process, which should be paid attention to and analyzed in research and practice.

Key words: Writing robot signature handwriting; Overall overlap probability; Single character overlap probability; Partial overlap probability