

汉语拼音输入中韵律边界等级对相邻字母输入时间间隔的影响^{*}

柳韦任 连湘怡^{***} 庄想灵^{**} 马国杰

(陕西省行为与认知神经科学重点实验室暨陕西师范大学心理学院, 西安, 710062)

摘 要 由于同音字多, 拼音输入不区分音调, 导致拼音字母到汉字的转化并不唯一, 从而降低了拼音输入法的输入效率。本研究基于汉语输入中的心理运动过程, 探讨韵律边界对拼音字母输入时间间隔的影响。为此, 我们分别采用自然篇章和歧义拼音字符串进行了两个实验, 让被试以全拼方式输入指定汉语文本对应的拼音, 记录相邻拼音字母的输入时间间隔。结果表明, 拼音的韵律边界等级影响了拼音字母的输入时间间隔, 等级越大, 则输入时间间隔越长。

研究要点

- 拼音输入中拼音字母边界的韵律等级提高, 字母输入时间间隔增长。
- 韵律等级很可能影响了语言产生的基本过程。
- 词汇在阅读和言语产生中都是基本的认知加工单元。

关键词 拼音输入; 拼音解歧; 韵律边界等级; 歧义拼音字符串; 言语产生
中图分类号: B849

DOI: 10.20058/j.cnki.CJAP.023056

1 引 言

根据《第 49 次中国互联网络发展状况统计报告》, 截止到 2021 年 12 月中国网民

规模达 10.32 亿 (中国互联网信息中心, 2022)。而全拼拼音输入法作为人机交互中的一个重要输入工具, 其输入效率直接影响用户的整体人机交互效率和体验。

1.1 拼音输入中的音字转换问题及现有

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金项目 (31970998, 32371128), 陕西师范大学青年创新团队培育项目 (GK202301002)。

^{**} 通信作者: 庄想灵, 女, 博士, 陕西师范大学心理学院教授, e-mail: zhuangxl@snnu.edu.cn

^{***} 连湘怡为共同第一作者。

解决措施

然而,全拼拼音输入法面临着重码率较高的问题。一方面,汉语中存在大量的同音字,同一音节对应将近8个字形(尹文刚,2003)。大量的同音字又衍生大量同音双字组合,且拼音输入不关注声调,导致同一拼音字符串对应的文本并不唯一。另一方面,当前全拼拼音输入法已发展为以短语或句子为单位进行输入(李政,1999)。因此,用户会连续输入多个词汇的拼音,从而导致音字转换面临边界不清的问题。例如,用户输入“congxiaochibian”既可以对应到“从/小/吃遍/”又可以对应到“从/小池/边/”。因而如何消除音字转换中的歧义对提高拼音输入效率具有重要意义(刘迁,贾惠波,2006;宗成庆,2016)。

当前的研究中,大多致力于通过机器学习的方法基于大规模人工标注的语料样本建立数学模型,再不断调试参数至最优来提高输入效率(宗成庆,2016)。也有研究者从键盘布局入手,如通过调整键盘布局来提高用户敲击键盘的效率(魏欣等,2020)。但这些方法仍难以消除拼音输入中的歧义现象。因此,有必要从用户认知及动作执行特性的角度考虑,寻找可以提高拼音输入效率的方法。

1.2 拼音输入的心理过程

拼音输入属于书写产生的范畴。van Galen(1990)提出的书写产生的心理运动模型包括加工模块、输出单元和缓冲器三个部分。其中,加工模块的前四个阶段为:意图→语义提取→句法建构→拼写,但缺少了语音信息模块。虽然目前对于语音信息模块仍存在语音中介假设(phonological mediation hypothesis)与正字法自主假设(orthographic autonomy hypothesis)之争,但有研究者提出这两种假说都包含语音信息激活,争议点在于语音信息激活是否会约

束正字法代码的提取与输出(王成等,2012)。因此,在van Galen的模型中可能需要加入语音信息激活的阶段,其心理运动过程可能为:意图→语义提取→句法建构→语音信息激活→拼写。

类比这种过程并结合认知任务分析,拼音输入过程如下:首先确定想法和概念,提取出相关语义,产生词语;进而激活相关的语音信息,即拼音;然后是拼写阶段,将拼音分解成形成素,最后完成拼音字母的键盘按压。

1.3 拼音输入中的韵律切分等级

拼音输入与口语产生在认知编码准备阶段都存在将语义转化为语音信息的过程。前人研究发现语音的某些声学特征(如停顿、声韵母时长等)与韵律边界密切相关(曹剑芬,2005;梅晓,2010)。韵律边界,即各类韵律成分的边界。较为公认的韵律成分划分有4个层级,从小到大依次是音节、韵律词、韵律短语和语调短语(如图1)。

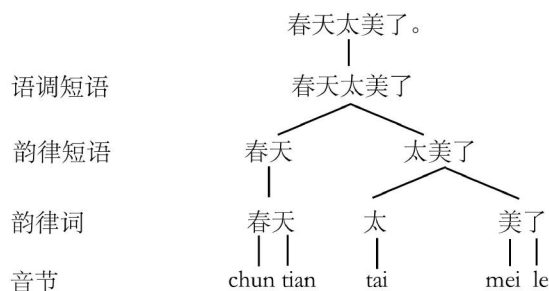


图1 语音识别中的韵律边界层次

有研究者(梅晓,2010)认为韵律短语、韵律词和音节这样的较小边界之间不具有明显区分。不过,也有研究者发现了韵律短语和韵律词能够被人所感知的证据。一方面,研究者们发现韵律短语边界能诱发与韵律信息相关的CPS(closure positive shift)脑波(Li & Yang,2009)。另一方面,有研究

证实部分声学特征(如发音时长)与韵律短语和韵律词边界有关(曹剑芬,2005)。因此,语音识别方面的发现意味着韵律边界等级会影响口语产生过程。与此类比,韵律边界等级对拼音输入过程也可能存在影响。

虽然,拼音输入与口语产生存在着很大的相似性,但也有其独特性。口语产生并不涉及音节字母的加工,但拼音输入涉及对音节字母的加工。拼音输入法在计算机领域一直被视为一种典型的序列标注问题,即如何根据以音节为单位组成的拼音字母串输入,输出对应的汉字串(戴露,2019)。这个过程本身就暗示了以音节和拼音字母为单位的切分。而汉语作为单音节语言,音节的切分就是字的切分。因此,我们认为不能在拼音输入中直接套用语音分析中的韵律结构,除了韵律词边界,还应该在我们的研究中添加以音节(字)和拼音字母为单位的边界。

据此,本研究划分出三种属于适用于拼音输入的韵律等级:词间、词内、字内。其中,词间边界可视为韵律词边界的一种。为了获得更符合用户输入习惯的切分方式,我们邀请被试对实验材料进行自然切分,最后获得三种韵律边界:

· 字内边界:一个字内的相邻拼音字母边界,如“春 chun”中的“c”和“h”,“h”和“u”,及“u”和“n”的间隔;

· 词内边界:一个词的词内相邻字之间的拼音字母边界,如“春天 chuntian”中的“n”(chun 末尾)和“t”(tian 开头)的间隔;

· 词间边界:一个词与其他成分的相邻字之间的拼音字母边界。如短句“春天来了 chuntianlaile”,“春天”是一个词,“来了”是不属于该词的其他成分,“n”(“tian”末尾)和“l”(“lai”开头)的间隔就是词间边界。

韵律边界等级从小到大排列为:字内,

词内和词间。

1.4 本研究的假设

本文假设,随着韵律边界等级提高,韵律边界处的两相邻字母输入时间间隔增长,即呈现出字内 < 词内 < 词间的模式。为了验证这一假设,研究分两个实验邀请被试采用全拼输入法,并记录其每个字母的输入时间点。其中,实验1采用自然篇章作为输入材料,实验2选择了歧义程度更高的歧义字符串作为输入材料,以进一步验证假设在复杂输入条件下是否成立。

2 实验1:自然篇章中韵律边界对相邻拼音字母输入时间间隔的影响

2.1 实验方法

2.1.1 被试

本实验共计43名被试, $M_{\text{年龄}}=19.7$, $SD=1.3$,剔除不符合要求的2名被试后,有效被试41人(女性28名,男性13名)。被试视力或矫正视力正常,可使用中文无障碍沟通,且日常习惯采用全拼拼音输入法。

2.1.2 实验设计

实验为单因素重复测量设计,因此在较大程度上减少了个体输入习惯和输入速度带来的影响。其中,自变量为韵律边界等级(字内、词内、词间),因变量为相邻两拼音字母的输入时间间隔。

2.1.3 实验材料

实验文本材料选取网络上一篇词汇简单的风景短文“春天常常带给人一种心旷神怡的感觉……”,根据语义将其划分为40个短句,每句不超过16个字,平均字数为8.7, ($SD=3.1$),方便被试理解记忆。另外,实验数据剔除率为4.62%,且没有被试在实验中报告因记忆问题导致的输入错误。因此,材料的记忆难度小,被试记忆准确。在实际过程中,为了尽量采集足够多的

数据以减少字母的键盘位置差异和字母类型等因素带来的影响,被试需要输入2遍短文内容,因此实验材料共计 $40 \times 2 = 80$ 个短句。另外,实验邀请6位被试对选取的小短句进行自然切分,并选取4名及以上被试做出同样划分的词语作为韵律边界的界定依据。最终在80个短句中,选取出1426个字内边界,162个词内边界,164个词间边界。

2.1.4 实验流程

实验分为练习部分和正式实验部分。正式实验部分要输入的材料为2.1.3小节提到的80个自然篇章短句,而练习部分为6个从正式实验中随机挑选的短句。实验中,实验界面通过E-prime 2.0呈现,键盘为104键的标准键盘。为了避免系统自带输入法的智能联想等功能的影响,被试需要在英文模式下输入拼音。拼音字母的输入时间点通过自编python键盘监听程序记录,两相邻字母的输入时间点之差即为两相邻字母的输入时间间隔。

关于实验流程,练习部分与正式实验部分相同,每次输入分为两阶段:记忆阶段和输入阶段。在记忆阶段,指导语要求被试记住屏幕所呈现的句子,在被试确认记住后按“Enter”键进入输入阶段。在输入阶段,被试需要将句子的拼音完整地输入,完成后按“Enter”键进入下一个短句的记忆阶段。在实验过程中,屏幕的呈现形式都为“黑色背景+白色文字”。另外,正式实验分为4阶段完成,每阶段间有休息时间,时长由被试自主决定。

2.2 数据与结果分析

以3个标准差为标准,共剔除1389个数据,每种条件下剩余的样例数及平均时间间隔见表1。采用SPSS 26.0对时间间隔进行单因素重复测量方差分析,并进行贝叶斯因子分析(吴凡等,2018)。方差分析违

反球形假设检验,需要采用Greenhouse-Geisser校正。结果显示,韵律边界等级主效应显著, $F(1.24, 49.69) = 214.42, p < 0.001, BF_{10} > 1000, \eta_p^2 = 0.84$,说明韵律边界会影响输入时间间隔。对不同条件下的时间间隔进行多重比较。结果显示,在词间条件下字母之间的输入时间间隔最长,显著长于字内和词内的条件($t = 15.57, p < 0.001; t = 8.11, p < 0.001$)。词内条件下的时间间隔显著长于字内条件($t = 14.44, p < 0.001$)(如图2)。

表1 自然篇章中不同韵律边界等级下的时间间隔

韵律边界等级	数目(总)	例子:春天 / 太美了 chuntiantaimeile	时间间隔 ($M \pm SD$)
字内	56960	“春 chun”中的“c”和“h”、“h”和“u”、“u”和“n”	210.62 ± 54.30
词内	5896	“春天 chuntian”中的“n”和“t”	406.07 ± 119.56
词间	5654	“天太 tiantai”中的“n”和“t”	458.21 ± 128.19

注:示例中字内条件仅列举了“春”,其他字类似。

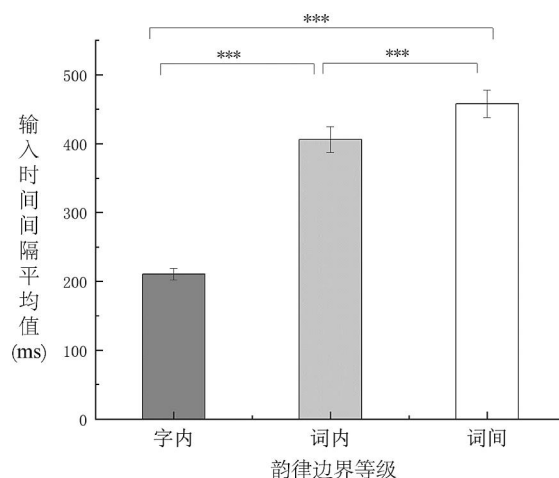


图2 自然篇章中不同韵律边界等级下的相邻字母输入时间间隔
(误差线为标准误,*** $p < 0.001$)

3 实验2:歧义拼音字符串中韵律边界等级对相邻字母输入时间间隔的影响

实验1采用自然篇章,验证了相邻字母输入时间间隔随着韵律边界等级的提高而增长。然而,在日常的拼音输入中,真正的转写难点是歧义拼音字符串,即相同的拼音字符串代表了不同的文本内容。如歧义字符串“xian”可以是“鲜”,“西安”或“溪岸”(见图3)。其中,“x”和“i”的间隔分别属于字内、词内和词间。这类材料正好可以实现用同一个字符串比较三种韵律边界的输入时间间隔差异,故实验2选用这类歧义拼音字符串作为实验材料。

选择这类材料的另一个原因是对额外变量的控制。因为拼音字母在键盘上的分布固定,使得相同拼音字母在键盘上的布局相同,从而有效控制空间距离和字母频率的影响。

字内: ta **xian** zaiyaochifan
他**现**在要吃饭

词内: **xian** shitadeguxiang
西安是他的故乡

词间: zheliyouxiang **xian** pai
这里有**详**细安排

图3 实验2采用的歧义拼音字符串示意

3.1 实验方法

3.1.1 被试

流程与实验1相同,共41名被试, $M_{\text{年龄}}=20.2$, $SD=1.2$,其中女性27名,男性14名。

3.1.2 实验设计

同实验1。

3.1.3 实验材料

实验文本材料为40组自编语句,每组由3个含有相同歧义字符串的句子组成

(如图3),共有 $40 \times 3=120$ 个句子。每句字数不超过14个字,平均字数为8.2($SD=2.0$),句子简单易理解。另外,数据剔除率为5.26%,且没有记忆错误的报告。材料记忆难度小,被试记忆准确。实验只考察在歧义字段的相邻拼音字母输入间隔,如歧义字符串“xian”(见图3)中的“i”和“a”的间隔。

3.1.4 实验流程

同实验1。

3.2 数据与结果分析

实验2共剔除98个数据,最终每种条件剩余的样例数目及平均时间间隔见表2。采用SPSS 26.0对时间间隔进行单因素重复测量方差分析,并进行贝叶斯因子分

表2 歧义拼音字符串中不同韵律边界等级下的时间间隔(ms)

韵律边界等级	数目(总)	例子	时间间隔($M \pm SD$)
字内	1540	“现 <u>xian</u> ”中的“i”和“a”	192.93 ± 69.57
词内	1569	“西安 <u>xian</u> ”中的“i”和“a”	332.99 ± 96.98
词间	1552	“详细安排 <u>xiangxianpai</u> ”中的“i”和“a”	475.44 ± 153.12

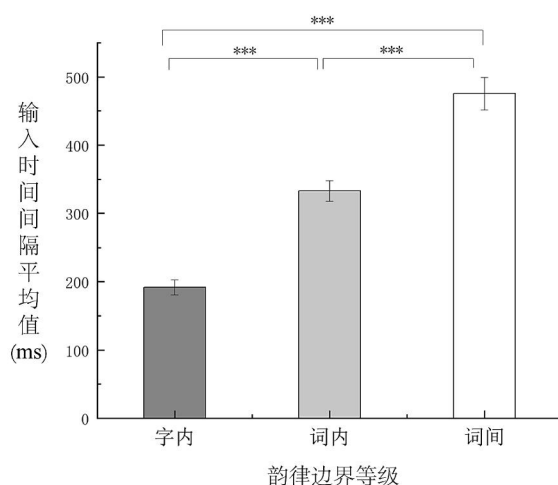


图4 歧义拼音字符串中不同韵律边界等级下相邻字母的输入时间间隔
(误差线为标准误,*** $p<0.001$)

析(吴凡等,2018)。方差分析违反球形假设检验,需要采用 Greenhouse-Geisser 校正。韵律边界等级对时间间隔的主效应显著, $F(1.22, 48.91) = 137.08, p < 0.001, BF_{10} > 1000, \eta_p^2 = 0.77$ 。多重比较分析结果表明,词间时间间隔显著长于词内和字内 ($t = 12.39, p < 0.001; t = 11.84, p < 0.001$), 词内时间间隔显著长于字内 ($t = 9.73, p < 0.001$), 如图 4 所示。

4 讨论

两实验的结果验证了我们的假设:在自然篇章和歧义字符串中随着韵律边界等级提高,两字母输入时间间隔增长,呈现出字内 < 词内 < 词间的模式。可能是因为在激活语音信息时,对拼音字母进行了韵律切分,从而在手指执行动作时产生了不同韵律等级下输入时间间隔不同的现象。

4.1 拼音输入和书写、语音产生过程的对比

在引言中我们将拼音输入与其他书写形式进行类比,推测韵律边界等级可能影响输入过程,研究结果证实了这一点。结合引言中所提到的 van Galen(1990)提出的书写模型,应该将“语音信息激活”加入其中,形成“意图→语义提取→句法建构→语音信息激活→拼写”的新模型。

大量研究显示拼写编码过程受高层语言学单元的调控,并非线性次序。例如,研究发现音节和形素边界书写时间更长,更不流畅(Álvarez et al., 2009; Kandel, Soler, et al., 2006)。而本拼音输入法研究中,韵律边界等级也影响着相邻字母的书写时间。因此,韵律边界等级可能是调控拼写编码的一种单元。

另外,本研究与语音识别研究结果既有共性又有差异。共性是韵律切分现象在

词间均有表现。声学研究发现了韵律词边界相关的声学特征(曹剑芬,2005),而本研究中词间间隔最大。差异是,本研究发现在音节和字母上存在韵律边界,而声学研究没有发现相关声学特征。这可能因两者的认知过程差异造成:语音输出不用涉及音节到拼音字母的转换,但拼音输入需要。

4.2 实验 1 与实验 2 的对比

通过比较发现,实验 1 的词内时间间隔($M = 406.07$)长于实验 2($M = 332.99$)。实际上,拼音输入中,很可能存在着一种介于音节和字母之间的韵律切分:声母同韵母的切分,如“春 chun””。而这种切分可能是造成差异的原因。在实验 2 中,为了保证字内条件同其他两种条件的拼音相同,我们采用的歧义字符串只有一个声母。这导致一种现象:在词内和词间条件下,边界后音节没有声母。如,“bilan”可以是“彼岸”(词内)和“笔按”(词间),边界后音节“an”都没有声母。因此,在词内条件下,边界后音节声母的缺失造成两个字的界限更不明确,甚至还可能发生连读现象。但在实验 1 的自然篇章中边界后音节的声母是存在的,如“春 | 天 chuntian”中的“t”。因此,相比于实验 2,实验 1 中两个字的界限更明确,词内时间间隔更长。

4.3 研究启示与未来工作

应用上,本研究模拟了用户使用输入法时的认知加工和动作执行过程,结果具备生态效度。这意味着在拼音输入法的算法设计中,可根据用户的输入间隔时间来判断其韵律边界等级,提高输入效率。

另外,本研究存在以下不足。首先,未控制词内和词间条件下,边界后字和词汇的字频和词频。在阅读中,边界后词汇的词频会影响前面词汇的切分时间(Ma et al., 2014)。虽然本实验中被试是先记忆后输入的,这种影响已在早期排除,但仍可能对输

入过程产生影响。其次,拼音输入的使用范围不仅限于实体键盘,还包括虚拟键盘。因此,在未来的研究中可以考虑从虚拟键盘中寻求提高中文输入效率的方法。

5 结 论

本研究通过两个实验发现,全拼拼音输入法中词汇的心理切分会影响输入动作的时间进程。随着韵律边界等级提高,相邻字母的输入间隔增长,即呈现字内 < 词内 < 词间的模式。因此,在优化输入法时,可根据拼音字符串的输入时间预测用户目标输入词的边界,从而提高同音字的转化准确率。

参考文献

- 曹剑芬.(2005). 音段延长的不同类型及其韵律价值. *南京师范大学文学院学报*, (4), 160–167.
- 戴露.(2019). 基于语言模型的拼音输入法研究与实现. 华中科技大学. 硕士学位论文.
- 李政.(1999). 计算机汉字输入技术的现状和发展趋势. *松辽学刊(自然科学版)*, (2), 33–36.
- 刘迁, 贾惠波.(2006). 中文信息处理中自动分词技术的研究与展望. *计算机工程与应用*, (3), 175–177.
- 梅晓.(2010). 普通话韵律结构的语音特性分析. 中国社会科学院大学. 硕士学位论文.
- 王成, 尤文平, 张清芳.(2012). 书写产生过程的认知机制. *心理科学进展*, 20(10), 1560–1572.
- 魏欣, 骆玉梅, 吴文凤, 廖斌.(2020). 基于汉字拼音输入法和手指作业能力的柯蒂键盘布局评价和改善研究. *人类工效学*, 26(3), 64–66.
- 吴凡, 顾全, 施壮华, 高在峰, 沈模卫.(2018). 跳出传统假设检验方法的陷阱——贝叶斯因子在心理学研究领域的应用. *应用心理学*, 24(03), 195–202.
- 尹文刚.(2003). 汉字同音率、同音度及同音字节个数随同音度增加而递减的规律. *语言科学*, 2(4), 3–6.
- 中国互联网信息中心.(2022). 第 49 次中国互联网络发展状况统计报告. 2023–3–2取自 <https://www.cnnic.cn/n4/2022/0401/c88-1131.html>.
- 宗成庆.(2016). 中文信息处理研究现状分析. *语言战略研究*, 1(6), 19–26.
- Álvarez, C.J., Cottrell, D., & Afonso, O. (2009). Writing dictated words and picture names: Syllabic boundaries affect execution in Spanish. *Applied Psycholinguistics*, 30(2), 205–223.
- Huang, L., Staub, A., & Li, X. (2021). Prior context influences lexical competition when segmenting Chinese overlapping ambiguous strings. *Journal of Memory and Language*, 118, 104–218.
- Hulstijn, W., & van Galen, G. P. (1988). Levels of motor programming in writing familiar and unfamiliar symbols. *Advances in Psychology*, 55, 65–85.
- Kandel, S., Soler, O., Valdois, S., & Gros, C. (2006). Graphemes as motor units in the acquisition of writing skills. *Reading and Writing*, 19(3), 313–337.
- Li, W., & Yang, Y. (2009). Perception of prosodic hierarchical boundaries in Mandarin Chinese sentences. *Neuroscience*, 158(4), 1416–1425.
- Ma, G., Li, X., & Rayner, K. (2014). Word segmentation of overlapping ambiguous strings during Chinese reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 40, 1046–1059.
- Van Galen, G.P. (1990). Phonological and motoric demands in handwriting: Evidence for discrete transmission of information. *Acta Psychologica*, 74(2), 259–275.

The Influence of Prosodic Boundaries on the Time Interval between *Pinyin* Letters While Inputting Chinese Characters

LIU Wei-ren Lian Xiang-yi ZHUANG Xiang-ling MA Guo-jie

(Shaanxi Key Laboratory of Behavior and Cognitive Neuroscience, School of Psychology, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract

Due to the abundance of homophones and the lack of tone differentiation in *pinyin* input, the conversion from *pinyin* letters to Chinese characters is not unique, which reduces the efficiency of *pinyin* input method. Based on the psychomotor processes in Chinese input processes, this study explored the effect of prosodic boundaries on the time intervals of *pinyin* letter input. Hence, we conducted two experiments using natural passages and ambiguous *pinyin* strings (One ambiguous *pinyin* string can refer to 3 types of prosodic boundaries and Chinese characters. For example, the *pinyin* “xian” may refer to “现”在, “西

安” and 详“细安”排). Participants were asked to input the corresponding *pinyin* letters of our materials in full *pinyin* format, and the time intervals between adjacent *pinyin* letters were recorded. The results indicated that the prosodic boundaries of *pinyin* affect the time intervals of *pinyin* letters' input, with the higher-level prosodic hierarchy leading to the longer time intervals.

Key words: *pinyin* input method, Chinese disambiguation, prosodic boundaries, ambiguous *pinyin* strings, language production