

汉字阅读的联结主义模型*

杨剑峰 舒 华

(认知神经科学与学习国家重点实验室, 北京师范大学, 北京 100875)

摘 要 汉字与英语词汇阅读受到相同统计属性的影响, 表现出阅读加工的普遍性, 汉字独特的形-音对应关系又体现出阅读的语言特异性。模型 1 建构与英文阅读模型完全相同的计算机模型, 设计汉字的字形与语音表征方案, 成功模拟出汉字阅读的规则性、一致性效应及其与频率的交互作用, 得到与行为实验相同的结果模式; 模型 2 改变声旁独立成字时的字形表征, 结果规则性效应消失。模拟结果一方面表明汉字与英语词汇阅读可能具有普遍的加工机制, 都是对输入语料的形-音对应关系统计学习的结果; 另一方面表明输入语料的不同统计属性可能是汉字阅读的语言特异性来源。

关键词 汉字阅读, 联结主义, 规则性, 一致性。

分类号 B842

1 引言

视觉词汇的出声阅读是从视觉输入到语音输出的信息加工转换过程^[1]。不同文字系统具有不同的书写形式, 从而导致字形到语音的对应关系具有跨语言的差异。尽管汉语的书写形式与英语有很大的差异, 但近年来的神经成像研究表明汉字与英语词汇阅读具有共同脑区的参与^[2~4], 只是不同语言在脑区的激活模式上表现出特异性, 如汉字需要涉及更复杂的空间加工脑区的参与^[5]。因而揭示阅读加工在功能结构上的普遍性机制及其语言特异性成为研究者关注的焦点^[6], 本文使用在英语词汇阅读中得到广泛应用的联结主义模型, 对汉字的阅读加工进行模拟研究, 探讨汉字阅读的普遍机制及其语言特异性。联结主义认为词汇是以分布的方式存储在心理词典中, 一个词条可以由多个神经元来表征, 一个神经元可以同时参与不同词汇的表征, 多个神经元的不同激活模式表征着不同的词条。阅读是并行加工的方式进行的, 在空间上表现出各个单元同时激活, 同时参与信息加工过程, 在时间上表现为不同网络层同时加工。联结主义否认存在事先的语言规则及其规则解释器, 认为规则是基于对大量输入语料的统计学习而浮现出来的特征, 学习的结果表现在大量神经元之间联结权重的改变, 神经元之

间的联结权重存储着学习的知识。联结主义的计算机模型在英语词汇阅读中得到了广泛的应用, 并成功模拟解释了大量正常成人的阅读命名现象^[7~9], 对发展性阅读障碍^[10]以及获得性阅读障碍^[11]的形成原因都作出了具体的理论解释。联结主义认为学会阅读是基于普遍的统计学习机制, 获得字形与语音对应的“准规则”系统^[7]的过程, 因而阅读加工必然受到输入语料的统计属性的影响。

频率是一种基本的统计属性, 词汇的使用频率越高, 字形与语音之间的联结强度就越大, 因而对高频字的加工要比低频字熟练, 表现出阅读的频率效应。频率效应是汉字与英语词汇阅读中最基本的行为现象^[12, 13]。

形-音对应关系是影响阅读的另一种统计属性。学会阅读是建立字形与语音之间的联结, 一个词形-音联结关系的建立能促进具有相同形-音对应关系的其它词的加工和学习。在英语词汇阅读中, 如果一个词的形素(-EA)读音与该形素在大多数词中的发音相同, 那这个词就是规则词, 反之则为不规则词, 规则词的命名时间要比不规则词快, 正确率高^[12]; 具有相同字形单元(-EAD)的词(HEAD, THREAD, TREAD...)形成一个家族, 字形单元(-EAD)发音都相同的家族为形-音对应一致的家族。形-音对应一致的词命名反应时要长于不一致

收稿日期: 2007-07-13
* 国家自然科学基金项目(60534080, 30470574)和北京市教育委员会共建项目(SYS100270661)资助。
通讯作者: 舒华, E-mail: shuh@bnu.edu.cn

词^[14, 15]。汉字阅读同样表现出形-音对应的规则性和一致性效应。汉字形声字的声旁读音与整字读音相同的称为规则字,不同的为不规则字,读音规则的形声字的命名反应时要比不规则字短^[12, 13, 16];同声旁的形声字组成一个家族,家族中所有字的读音都相同的为一致家族,被试对一致家族的形声字命名要比不一致家族的快,正确率要高^[17, 18]。

频率与形-音对应关系同时影响词汇阅读并表现出交互作用。在英语词汇阅读中,低频词的规则性效应更强^[12];一致性效应与频率存在着显著的交互作用^[15, 19]。在汉字阅读中同样发现,高频字没有规则性效应,只有在低频条件下才发现显著的规则性效应^[12, 13],一致性效应与频率也表现出显著的交互作用^[17, 18]。

汉字与英语词汇阅读受到相同的统计属性的影响,但在具体形-音对应关系上存在着差异,这种差异主要体现在形-音对应的单元大小不同^[20]。在英语中,语音可以在音素(Phoneme)、韵(Rime)以及音节(Syllable)水平与不同的字形单元相对应,例如,BREAD在形素水平(-EA)是不规则的发音,然而,在韵(-EAD)的水平是一致的,因为-EAD在所有含有该形素的词(HEAD, THREAD, TREAD)中发音都相同。也就是说,英语中的规则性和一致性本质上是相同的,都是来源于家族成员读音影响,二者是在不同水平上的形-音对应^[9]。汉字的一致性跟英文相同,是来源于声旁家族成员的读音影响,而规则性是来源于声旁本身读音的影响。因而,汉字与英语词汇具有不同的形-音对应单元^[21, 22],汉字阅读的规则性与英语规则性来源不同,具有汉语阅读加工的特异性。

综上所述,汉字与英语词汇阅读受相同的统计属性的影响,体现出一致性及其与频率的交互作用,但在具体的形-音对应关系上具有跨语言的差异,体现出汉字阅读独特的规则性。如果能使用与英语词汇阅读相同的模型模拟出汉字阅读的行为实验结果,那么相同的模型机制暗示着汉字与英语词汇阅读具有普遍的加工机制,对汉字规则性来源的进一步分析能揭示出这种加工语言特异性的来源。因而本研究使用与英语阅读模型相同的模型结构、算法、训练以及测试方法,建构汉字阅读的联结主义模型,使用汉字的形、音表征方案,旨在模拟汉字阅读的规则性、一致性及其与频率的交互作用,并探讨汉字阅读的普遍机制及其语言特异性来源。

2 模型1:汉字命名的联结主义模型

2.1 模型的建构

2.1.1 模型结构 汉字阅读的形-音对应模型(OPP模型)采用与英语词汇阅读模型^[10]完全相同的结构,输入层为270个单元的字形层,输出层为92个单元的语音层,输入层与输出层经200个隐单元相联结,层与层之间实行单向全联结,组成一个由字形到语音的前馈(Feedforward)网络;另外,语音层与自身单元之间实行全联结,50个单元的cleanup层又与语音层之间实行双向全联结,组成一个语音的吸引子(attractor)网络^[23]。整个模型是由形-音对应的前馈网络与语音吸引子网络两个子网络组成的一个复杂网络。

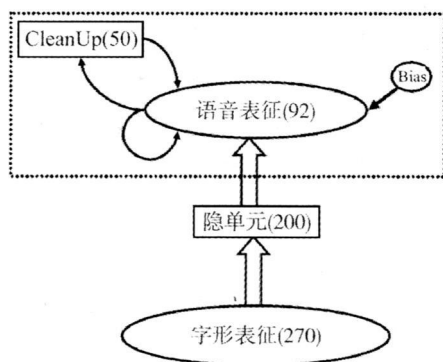


图1 汉字阅读的形-音对应模型(OPP)

2.1.2 字形表征

邢红兵等^[24, 25]根据汉字的拆分结构信息,对每个汉字进行详细表征,能表征几乎所有汉字,因而这里我们主要对其表征方案加以修正,以适合联结主义模型,主要进行了三方面的修正:

首先,去除字形表征中整字和声旁的语音表征编码。因为在字形表征中加入语音表征,就相当于给模型预先设定了字形与语音之间的对应关系,而这种形-音对应关系需要模型在学习过程中通过统计学习而获得。

其次,把连续值表征改成二进制表征,去除每个部件冗余的36种视觉特征。为了避免出现重码现象,增加6个随机单元来区分53个出现重码的部件(如,土与士;人与入)。

最后,对声旁独立成字时的字形表征重新编码。根据邢红兵的表征方案,声旁独立成字时是按照字的方案表征的,这样一来,成字声旁(如,“乔”)的三个部件就与它在形声字(“侨、轿、荞、桥”)中作为声

旁时的表征位置不同。我们根据声旁家族中所有形声字的声旁典型位置来安排声旁成字时的表征,这样就保证声旁与整字在字形上具有了相似性。事实上,这种表征方案保证了模型成功模拟出汉字命名的规则性效应(模拟2中详述)。

表1 汉字形表征的部件序列

汉字	汉字结构	部件序列						
		1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th	6 th	7 th
乔	声旁(修正)	—	—	—	—	人	大	月
乔	声旁(邢04)	人	大	—	—	—	—	月
侨	左右结构	亻	—	—	—	人	大	月
矫	左右结构	纟	大	—	—	人	大	月
养	上下结构	艹	—	—	—	人	大	月

2.1.3 语音表征 汉语音节由3部分组成:声母、韵母和音调,韵母又由介音、韵腹和韵尾组成。因而对于每一个音节,都用5个槽来表征声母、介音、韵腹、韵尾和音调5部分信息。除音调由4个单元表征5种音调之外,其它的都由22个单元来表征各音素的发音位置、发音方法等发音特征,这样,每个音节由92个单元表征。

在具体表征时,主要解决两个关键问题,首先根据汉语拼音方案,把实际的拼写转换成标准的拼音形式,如/ga1/的声母为/g/,韵腹为/a/,声调为1,介音与韵尾则用“-”表示空,对于用/w/和/y/来书写的零声母(如/wu1/)音节,则把声母还原为空,把简写的韵母(/iu/)还原成标准的形式(/iou/)。其次是根据国际音标(IPA)方案,把书写形式相同但发

音不同的音素,如/ga1/与/gang1/的/a/,用不同的发音特征来区别表征。

2.2 训练与测试

训练材料为《现代汉语频率字典》中的4468个汉字,使用平方根压缩^[7]的方法把每个汉字的频率转换成相对的训练概率(训练概率=频率的平方根/1000的平方根)。与英文模型的训练方法^[10]相同,首先训练语音吸引子网络,使模型具有预先的语音知识。然后把吸引子网络的联结权重固定,再训练从字形输入到语音输出的阅读过程。同时给模型输入字形和语音表征,根据模型的语音输出误差,使用CRBP算法^[26]调节模型的联结权重,学习率为0.005,动量为0.9。

测试时只输入模型字形表征,计算模型的语音输出正确率以及误差总平方和(SSE)。根据92个语音单元的输出值,把输出的各音素单元的激活模式与所有音素表征作比较,欧氏距离最近的音素作为目标输出,目标语音的每个音素都输出正确计为模型正确命名。SSE的计算根据模型所有输出单元与目标单元的误差的平方和,SSE值越小表明模型的输出越精确。

与行为实验相同,这里采用2(频率:高、低)X3(字类型:规则一致、规则不一致、不规则不一致)的实验设计测试模型的汉字阅读,共挑选120个形声字作为测试材料,高频(565/百万次)、低频(10/百万次)汉字各60个,每种频率的规则一致、规则不一致和不规则不一致字各20个,匹配各条件的笔画数和部件数。

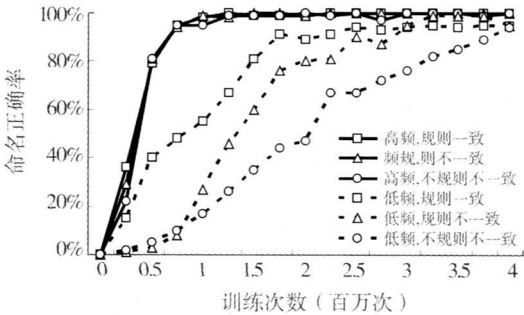
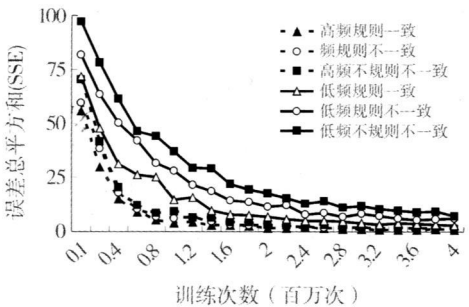


图2 模拟1的命名正确率及误差总平方和(SSE)训练曲线

2.3 结果

对模型训练4百万次之后,模型能正确命名3918个(87.63%)训练汉字,在120个测试汉字中平均114个(95.35%)能被正确命名。

在训练过程中,高频条件下的测试字SSE下降

很快,命名正确率很快达到100%,表明模型能很快学会,而且三种类型的测试字在学习过程中几乎没有差异。对于低频字,规则一致测试字的SSE下降的最快,命名正确率上升最快,模型学习得最快;规则不一致测试字的SSE下降速度次之,相应的命名

正确率上升得也较慢,模型学习得比较慢;而不规则不一致测试字的 SSE 下降最慢,命名正确率上升最慢,说明模型学习得最慢。模型在输出 SSE 和命名正确率的发展上都表现出规则性(规则字的学习优于不规则字)、一致性(一致字的学习优于不一致字)及其与频率的交互作用,与行为实验结果基本一致。

进一步分析模型在训练结束时的阅读命名成绩,120 个测试材料的 SSE 进行的 MANOVA 方差分析结果表明,频率的主效应显著, $F(1, 114) =$

$68.00, p < 0.01$,高频字的 SSE 要显著小于低频字;字类型的主效应显著, $F(2, 114) = 13.73, p < 0.01$;同时还发现了显著的频率与字类型的交互作用, $F(2, 114) = 7.82, p < 0.01$ 。简单效应检验发现,高频条件下三种类型测试字的差异不显著, $F(2, 115) = 0.30, p = 0.74$,低频条件下的字类型差异显著 $F(2, 115) = 13.32, p < 0.01$ 。低频条件下的三种类型测试字的多重比较表明,规则一致汉字的 SSE 要显著低于规则不一致字($p = 0.03$),规则不一致汉字的 SSE 要低于不规则不一致字($p = 0.01$)。

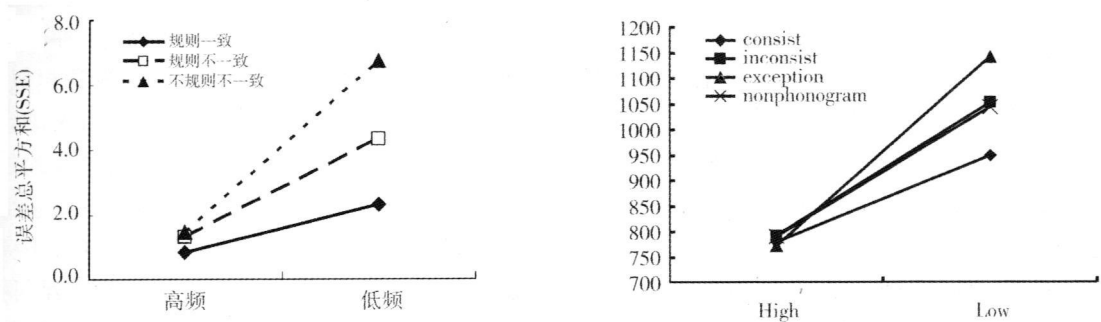


图3 模型(左)模拟出成人实验^[17](右)的规则性、一致性及其与频率的交互作用

模型成功模拟出汉字阅读的规则性、一致性及其与频率的交互作用,得到与成人阅读命名^[17]的反应时数据(图3右)相同的结果模式。

3 模型2:形声字命名规则性的实质

与英语词汇阅读不同,汉字的规则性来源于声旁读音而不是家族内其它字的读音影响。模型1没有对声旁进行特殊的处理,只是训练从字形到语音的对应关系,模型成功模拟出规则性效应。在模型2中,对声旁的字形表征加以修改,使其与形声字的字形表征不再相似,如果规则性效应消失,则表明规则性来源于声旁作用,如果规则性仍然存在,则表明

规则性来源于家族的影响。

3.1 方法

模拟2采用模拟1的模型、训练以及测试材料,模型的训练与测试方法与模拟1完全相同。只改变声旁独立成字时的字形表征:在模拟1中,声旁的部件是按照它们在同声旁家族的形声字中出现的典型位置来安排部件序列的,形声字(如“抬”)在字形表征上与其声旁(“台”)具有相似性,因而声旁的学习促进了形声字的命名。在模拟2中,使用邢红兵^[24, 25]对声旁成字时的表征方案,形声字就不再具有与声旁独立成字时的字形相似性(见表1)。

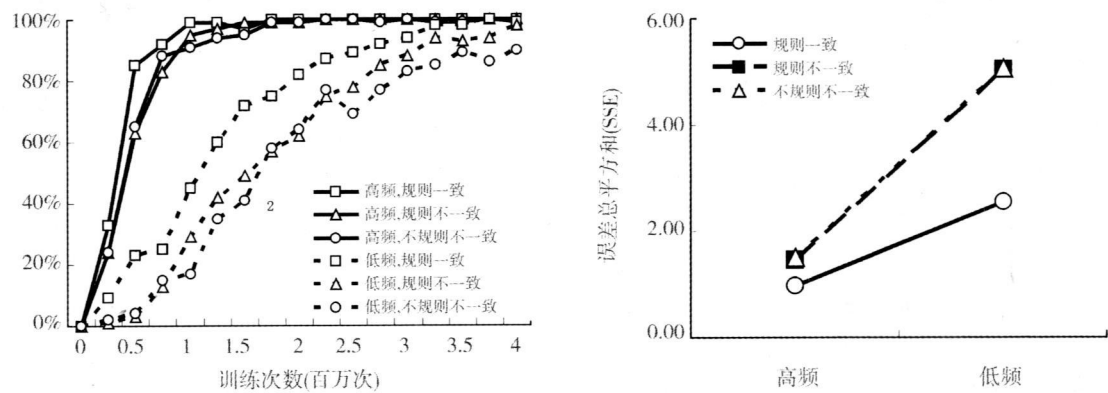


图4 模拟2的命名正确率训练曲线以及SSE输出结果

3.2 结果

在模型训练过程中,与模拟 1 相同,高频字的学习快于低频字,很快就能学会,而低频字需要更多的学习次数才能达到较高的正确率。在低频条件下,规则一致汉字学得最快,但另外两种字的正确率增长曲线与模拟 1 的结果不同,没有表现出明显的差别。

在训练结束时,对模型的输出 SSE 的方差分析结果表明,模型 2 表现出显著的频率效应, $F(1, 114) = 43.91, p < 0.01$; 字类型的主效应显著, $F(2, 114) = 5.27, p < 0.01$; 但频率与字类型之间的交互作用不再显著, $F(2, 114) = 2.32, p = 0.1$ 。与模拟 1 相比,模拟 2 的交互作用不显著主要是在低频条件下规则不一致与不规则不一致字之间的差异消失,没有规则性效应($p = 0.98$),但规则一致字与规则不一致字的 SSE 存在差异,还存在着显著的一致性效应($p < 0.05$)。

模拟 2 在改变声旁独立成字时的字形表征之后,规则性效应消失,只表现出一致性效应及其与频率的交互作用。

4 讨论

本研究通过建构与英语词汇阅读相同的联结主义模型,模拟汉字阅读的命名任务,结果发现:首先,模型能完成近 4000 个汉字的阅读命名,表现出很强的阅读能力。先前阅读模型^[6, 24, 25, 27]使用的训练样本相对要少得多,模型的阅读能力相对有限。其次,模型成功模拟出成人汉字阅读的实验结果^[13, 16, 17, 28],表现出规则性、一致性及其与频率的交互作用。以往的模型往往没有考察一致性及其与频率的交互作用^[27, 29~31],我们的模型比较全面的拟合了行为实验的结果。最后,改变声旁独立成字时的字形表征之后,模型阅读的规则性效应消失,表明规则性来源于声旁读音对整字读音的影响,从具体算法上揭示出汉字阅读规则性的来源。

长期以来,研究者提出的汉字阅读的理论模型都需要假定一个独立的部件层,具有汉语的特异性。因为部件是阅读的最小的单位^[32],部件可以组合成复杂的汉字层级结构,从而导致汉字可以在多个部件组合水平上作为声旁,形成相应的形声字家族(如“口:扣,叩, …; 古:估,沽,姑, …; 胡:糊,湖,瑚, …”)并对整字读音起作用。因而研究者认为,汉字阅读需要激活相应的部件表征^[33],进而认为汉字部件与整字具有分离的表征^[34],汉字阅读只能通

过部件表征^[6]或 lemma 水平^[35]作为中介来完成。另外,汉字的形-音对应关系无论在哪个水平的部件组合上都只对应于汉语音节^[36],本质上是与英文的形素与音素的亚词典对应关系不同,仍然是词典水平的对应,从而在已有的汉字阅读理论和模型中都没有亚词汇加工通道,但不得不假定一个独立的部件层^[6, 35]。

本研究使用与英语阅读统一的模型模拟出汉字的阅读加工过程。汉字字形表征以部件分槽的方式,不仅详细表征每个部件的笔画特征,笔画关系等结构信息,还考虑到汉字的部件数、部件关系以及高频位置对汉字阅读的影响^[33, 37]。这种分布式的表征机制最大程度地体现出汉字的视觉相似性,实现在部件、声旁以及整字等多个水平与汉语音节相对应,从而保证模型在训练从字形到语音的映射关系时不需要独立的部件层,也不需要汉字部件进行特异处理^[6, 24, 25]。模型在训练过程中,声旁的位置相对固定且总与某个主导的语音相联结,因而基于声旁水平的规则性与一致性效应都能被模拟出来,从而把汉字与英语词汇阅读统一在相同的模型框架下。

汉字与英语词汇阅读的统一模型框架揭示出它们具有普遍的内部加工机制,都是对大量输入语料的统计学习,从中抽取出字形与语音的“隐规则(quasi-regular)”系统。汉字语料库分析表明,绝大多数形声字的声旁都能独立成字,并且最先被学会,对声旁的学习就直接促进了规则形声字的学习,所以低年级儿童就能意识到声旁与整字读音的关系,体现出声旁的规则性效应。随着年级的增加,在汉字学习的绝对数量增加同时,原来一致的家族变得不再一致^[25, 38],儿童开始意识到不能再简单地根据声旁来推测整字的读音,开始受到家族内其它字读音的影响^[39],一致性意识才开始发展。语料库的统计分析与儿童的行为模式一致,都表现出规则性意识先发展,一致性意识发展较晚^[40, 41]。结果的相似性表明儿童的阅读发展依赖于输入语料的统计属性,我们的模型从具体算法上表明阅读是对输入语料统计学习的结果。

汉字阅读模型不同于英语词汇阅读模型在于使用的汉字表征以及训练材料,输入语料的不同属性导致模型表现出不同语言的阅读特性。汉字的规则性来源与英语词汇阅读的规则性不同,是声旁读音对整字读音的影响。汉字阅读模型使用与英语模型相同的学习机制,没有加入汉字特定的形-音对应

规则, 同样模拟出汉字特异的规则性效应, 表明汉字阅读特异的规则性效应来源于输入语料统计属性的差异。

汉字阅读加工的计算机模型的成功建立一方面把基于拼音文字系统的理论模型推广到不同的文字系统, 在统一的理论模型下解释视觉词汇的阅读加工过程, 进而考查不同语言或文字系统的阅读普遍性及其特异性机制。另一方面, 基于统计学习的阅读模型表明一致性的获得是基于对大量同声旁家族的学习而获得的, 而规则性是基于声旁与整字的关系而获得的, 为汉字阅读教学提供了相应的理论依据和实践指导。

5 结论

(1) 汉字与英语词汇阅读可以在统一的联结主义模型框架下得到解释。

(2) 汉字特异的语料输入属性决定了汉字阅读的规则性来源。

参 考 文 献

- Coltheart M. Dual route and connectionist models of reading: an overview. *London Review of Education*, 2006, 4 (1): 5 ~ 17
- Chee M W, Tan E W, Thiel T. Mandarin and English single word processing studied with functional magnetic resonance imaging. *The Journal of Neuroscience*, 1999, 19 (8): 3050 ~ 3056
- Chen Y, Fu S, Iversen S D, et al. Testing for dual brain processing routes in reading: A direct contrast of Chinese character and Pinyin reading using fMRI. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2002, 14 (7): 1088 ~ 1098
- Bolger D J, Perfetti C A, Schneider W. Cross-cultural effect on the brain revisited: Universal structures plus writing system variation. *Human Brain Mapping*, 2005, 25 (1): 92 ~ 104
- Tan L H, Laid A R, Li K, et al. Neuroanatomical correlates of phonological processing of Chinese characters and alphabetic words: A meta-analysis. *Human Brain Mapping*, 2005, 25 (1): 83 ~ 91
- Perfetti C A, Liu Y, Tan L H. The lexical constituency model: some implications of research on Chinese for general theories of reading. *Psychological Review*, 2005, 112 (1): 43 ~ 59
- Plaut D C, McClelland J L, Seidenberg M S, et al. Understanding normal and impaired word reading: computational principles in quasi-regular domains. *Psychological Review*, 1996, 103 (1): 56 ~ 115
- Harm M W, Seidenberg M S. Computing the meanings of words in reading: cooperative division of labor between visual and phonological processes. *Psychological Review*, 2004, 111 (3): 662 ~ 720
- Zev J D, Seidenberg M S. Simulating consistency effects and individual differences in nonword naming: A comparison of current models. *Journal of Memory and Language*, 2006, 54 (2): 145 ~ 160
- Harm M W, Seidenberg M S. Phonology, reading acquisition, and dyslexia: insights from connectionist models. *Psychological Review*, 1999, 106 (3): 491 ~ 528
- Wooliams A M, Lamborn R M A, Plaut D C, et al. SD-squared: on the association between semantic dementia and surface dyslexia. *Psychological Review*, 2007, 114 (2): 316 ~ 339
- Seidenberg M S. Constraining models of word recognition. *Cognition*, 1985, 20 (2): 169 ~ 190
- Shu H, Zhang H C. The processing of pronouncing Chinese characters by proficient mature readers (in Chinese). *Acta Psychologica Sinica*, 1987, 19 (3): 282 ~ 290
(舒华, 张厚粲. 成年熟练读者的汉字读音过程. *心理学报*, 1987, 19 (3): 282 ~ 290)
- Jared D, McClelland J L, Seidenberg M S. The basis of consistency effects in word naming. *Journal of Memory and Language*, 1990, 29: 687 ~ 715
- Jared D. Spelling-sound consistency affects the naming of high-frequency words. *Journal of Memory and Language*, 1997, 36 (4): 505 ~ 529
- Hue C. Recognition processes in character naming. In: Chen H, Tzeng O ed. *Language Processing in Chinese*. North-Holland Elsevier Science Publisher, 1992. 93 ~ 107
- Peng D, Yang H, Chen Y. Consistency and phonetic-independence effects in naming tasks of Chinese phonograms. In: Jing Q, Zhang H, Peng D. *Information processing of the Chinese language*. Beijing: Beijing Normal University Press, 1994. 26 ~ 41
- Peng D, Yang H. The phonological processing of Chinese phonograms. *Asia and Pacific Journal of Speech, Language and Hearing*, 1997, 2: 177 ~ 195
- Jared D. Spelling-sound consistency and regularity effects in word naming. *Journal of Memory and Language*, 2002, 46 (4): 723 ~ 750
- Seidenberg M. Visual word recognition: An overview. In: Miller J L, Eimas P D. *Speech, Language and Communication*. San Diego: Academic Press, 1995. 138 ~ 163
- Ziegler J C, Goswami U. Reading acquisition, developmental dyslexia, and skilled reading across languages: a psycholinguistic grain size theory. *Psychological Bulletin*, 2005, 131 (1): 3 ~ 29
- Ziegler J C, Goswami U. Becoming literate in different languages: similar problems, different solutions. *Developmental Science*, 2006, 9 (5): 429 ~ 436
- Hinton G E, Shallice T. Lesioning an attractor network: investigations of acquired dyslexia. *Psychological Review*, 1991, 98 (1): 74 ~ 95
- Xing H B, Shu H, Li P. A self-organizing connectionist model of character acquisition in Chinese. In: Gray W D, Schunn C D ed. *Proceedings of the Twenty Fourth Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum, 2002. 950 ~ 955
- Xing H B, Shu H, Li P. The Acquisition of Chinese characters: Corpus analyses and connectionist simulations. *Journal of Cognitive Science*, 2004, 5 (1): 1 ~ 49
- Pearlmutter B A. Gradient calculations for dynamic recurrent neural networks: a survey. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 1995, 6 (5): 1212 ~ 1228
- Chen Y, Peng D. A connectionist model of recognition and naming of Chinese characters. In: Chang H W, Huang J-T, Hue C-W, et al. Ed. *Advances in the study of Chinese language processing*. Taipei: National Taiwan University Press, 1994. 211 ~ 240
- Fang S P, Horng R Y, Tzeng O. Consistency effects in the

- Chinese character and pseudo-character naming tasks. In: Kao H S R, Hoosain R ed. *Linguistics, psychology, and the Chinese language*. Center of Asian Studies: University of Hong Kong, 1986. 11 ~ 21
- 29 Hsiao J H, Shillcock R. Connectionist modelling of Chinese character pronunciation based on foveal splitting. In: Gray W D, Schunn C D ed. *Proceedings of the Twenty Sixth Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Chicago IL: Lawrence Erlbaum, 2004. 601 ~ 606
- 30 Hsiao J H, Shillcock R. Foveal splitting causes differential processing of Chinese orthography in the male and female brain. *Cognitive Brain Research*, 2005, 25 (2): 531 ~ 536
- 31 Hsiao J H, Shillcock R. Hemispheric differences emerge from perceptual learning: evidence from modeling Chinese character pronunciation. In: Ron S ed. *Proceedings of the Twenty eighth Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Vancouver, Canada: Lawrence Erlbaum, 2006. 345 ~ 350
- 32 Chen Y, Allport D A, Marshall J C. What are the functional orthographic units in Chinese word recognition: the stroke or the stroke pattern? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1996, 49A (4): 1024 ~ 1043
- 33 Taft M, Zhu X. Submorphemic processing in reading Chinese. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 1997, 23 (3): 761 ~ 775
- 34 Taft M, Zhu X, Ding G. The relationship between character and radical representation in Chinese. *Acta Psychologica Sinica*, 2000, 32 (supp.): 1 ~ 12
- 35 Taft M. Processing of characters by native Chinese readers. In: Li P, et al ed. *Handbook of East Asian Psycholinguistics*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. 237 ~ 249
- 36 Siok W T, Perfetti C A, Jin Z, et al. Biological abnormality of impaired reading is constrained by culture. *Nature*, 2004, 431 (7004): 71 ~ 76
- 37 Taft M, Zhu X, Peng D. Positional specificity of radicals in Chinese character recognition. *Journal of Memory and Language*, 1999, 40 (4): 498 ~ 519
- 38 Shu H, Chen X, Anderson R C, et al. Properties of school Chinese: Implications for learning to read. *Child Development*, 2003, 74 (1): 27 ~ 47
- 39 Shu H, Wu N. Growth of orthography-phonology knowledge in the Chinese writing system. In: Li P, et al ed. *Handbook of East Asian Psycholinguistics*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. 103 ~ 113
- 40 Yang H, Peng D. The learning and naming of Chinese characters of elementary school children. In: Chen H C ed. *Cognitive Processing of Chinese and Related Asian Languages*. Beijing: The Chinese University Press, 1997. 323 ~ 346
- 41 Shu H, Anderson R C, Wu N. Phonetic awareness: knowledge of orthography-phonology relationships in the character acquisition of Chinese children. *Journal of Educational Psychology*, 2000, 92 (1): 56 ~ 62

A Connectionist Model of Chinese Characters Reading

YANG Jian-Feng, SHU Hua

(State Key Laboratory of Cognitive Neuroscience and Learning, Beijing Normal University 100875, China)

Abstract

A connectionist model regards reading as statistical learning acquired from an input corpus. The regularity and consistency effects in mapping from orthography to phonology are regarded as the statistical properties of word reading. These effects originate from the impact of families at different levels of orthography-phonology mapping in English. On the other hand, in Chinese, only the consistency effect originates from the impact of phonetic families, while the regularity effect emanates from the impact of the phonetics. In this paper, we trained two connectionist models to understand the nature of the universal (consistency) and specific (regularity) effects of reading Chinese characters in a general framework.

In Simulation 1, a connectionist model adopted from English was trained to understand the mapping of 4,468 Chinese characters from orthography to phonology. The naming accuracy and sum squared error (SSE) were measured to test the model's performance. Simulation 2 was trained to test the nature of the regularity effect by modifying the orthographic representation of phonetics, which appeared as an independent character.

The model in Simulation 1 successfully captured the regularity and consistency effects and their interaction with frequency. The results revealed a pattern similar to that found in previous empirical research. Following the occlusion of orthographic similarity in Simulation 2, the disappearance of the regularity effect revealed that the nature of Chinese regularity is the result of similar orthography-phonology mapping between phonograms and their phonetics.

The universal-language (consistency) and Chinese-specific (regularity) effects were simulated and understood in combination, through statistical learning acquired from orthography-phonology mapping in a general framework. It can be concluded that the mechanism of reading is universal across languages and a language-specific mechanism arises from the different statistical properties of the input corpus.

Key words Chinese characters reading, connectionist, regularity, consistency.