

## 修改说明

### 第一轮修改:

审稿人 1 的意见以及回复

问题 1: 引言第一段, 从“迁移”到“然而, 近几十年来许多研究发现学习并非一定是有意识的, 也可以在无意识的条件下进行, 即人类存在一种内隐学习的能力”之间使用转折的逻辑不合理, 之间并不存在转折关系。建议补充“迁移是有意识的”相关内容, 理顺行文逻辑。

回复: 正如您所指出的, 这里转折的逻辑不太合理。我们已对引言的第一段进行了修改, 删除了转折部分, 增强了行文的逻辑。具体修改如下:

学习是人类最为重要的一种认知能力。近几十年来许多研究发现学习并非一定是有意识的, 也可以在无意识的条件下进行, 即人类存在一种内隐学习的能力。内隐学习是有机体通过与环境接触, 无目的、自动地获得事件和客体间结构关系的过程(郭秀艳, 2003; 郭秀艳, 杨治良, 2002; Reber, 1967)。内隐学习在人类认知的许多方面发挥着重要的作用, 例如语言的获得(Kovacs & Endress, 2014; Nazzi et al., 2000)、动作技能的掌握(孙鹏等, 2022; Miyamoto et al., 2020)等。

问题 2: “内隐学习“结构迁移”相关研究综述略显不足。尽管论文引用了经典文献(如 Reber, 1967; Marcus, 2001; Kuhn & Dienes, 2008), 但对近年来关于“迁移能力是内隐学习关键判据”的理论和实证研究综述尚不充分。”

回复: 感谢您宝贵的意见! 我们对原先的引言第二段内容进行了重新调整, 从而增强“迁移能力是内隐学习关键判据”的相关研究的补充。具体修改如下:

内隐学习研究领域的一个核心问题是内隐习得的究竟是何种类型的知识。一些研究者认为被试能够内隐习得底层的抽象规则(Reber, 1967, 1969), 而另外一些研究者则认为被

试在这一过程中仅限于对组块、具体样例等表面特征的学习 (Brooks, 1978; Jamieson & Mewhort, 2011; Rohrmeier & Rebuschat, 2012)。在内隐学习研究的早期阶段, 学者们主要采用限定状态人工语法规则作为实验范式。限定状态语法依赖相邻元素之间的序列顺序, 即相邻规则, 使得学习过程中底层的抽象语法规则与表面相似性特征难以完全区分。因此, 参与者的学习效应常常被解释为对局部表面特征组块化的结果, 而非真正掌握了底层的抽象规则 (Rohrmeier & Rebuschat, 2012)。近期研究者进一步借助可良好分离规则与组块等表面特征的远距离规则对内隐学习的抽象性进行探究 (Jiang et al., 2012; Ling et al., 2022), 并特别关注了被试是否能够将所习得的结构规则迁移至不同长度的新材料中, 以检验其是否掌握了更具抽象性的“无限结构模式” (infinite patterning) (Dienes & Longuet-Higgins, 2004)。迁移是指个体将已习得的结构规则知识泛化到表面特征不同的新材料中, 近年来, 迁移能否发生已被视为内隐学习中是否习得了抽象规则的关键判据 (戴惠等, 2018; Pothos, 2007; Wang et al., 2021)。探究个体能否在长度不同但规则结构相似的远距离规则新材料中实现迁移, 不仅能够证明内隐学习的抽象性, 也直接回应了 Chomsky (1956) 关于语言生成性的核心观点: 人类的认知机制超越了限定状态系统, 具备更高层次的结构抽象能力, 能够凭借有限的语言输入, 掌握语法规则并生成无限的新句子。目前, 远距离规则研究的相关证据表明, 人类能够无意识地掌握非邻近元素之间的结构依赖关系, 并在材料变化条件下保持迁移与应用。例如, 姜珊与关守义 (2018) 在控制了组块等表面特征的基础上, 通过汉语声调水平之间的映射关系构建了符合远距离规则的声音串, 结果发现, 被试能够内隐掌握声调间的远距离映射关系, 并且能将这些规则迁移到新的声音串长度条件下。可见, 内隐学习能够超越具体的表面特征, 习得可迁移的抽象结构。

问题 3: 讨论稍显单薄, 建议补充关于机制的分析。本研究聚焦于远距离规则的学习与迁移, 具有重要理论价值。然而, 当前的讨论仅在结果层面比较了与先前研究的不同, 未能解释所发现结果的内在机制, 建议对 SRN 为什么能够学习抽象的远距离规则, 并能够将所习得的规则有效迁移至不同长度的结构条件这一结果的深层和具体机制进行补充。

回复：感谢您宝贵的意见！我们已在讨论部分增加了 SRN 为什么能够学习抽象远距离规则并迁移到不同长度的内在机制的探讨。具体增加的内容如下：SRN 能够习得远距离规则以及实现跨长度迁移，关键在于其上下文单元所构成的时间延迟反馈机制。SRN 的隐含层激活状态不仅受到当前输入的影响，也会整合前一时刻的隐含层激活状态（Elman, 1991; Magnuson & Luthra, 2024），从而实现了对序列历史信息的持续记忆与动态整合，这一机制赋予网络对长距离依赖关系进行加工的能力，使得 SRN 可以建立非相邻元素之间的结构依赖关系的概率表征。从远距离结构规则学习和迁移的角度来看，SRN 在训练阶段通过预测下一个元素来持续调整内部权重，从而建立对“平仄”类别之间远距离映射规则的抽象加工能力。当测验阶段输入长度发生变化时，这种类别层面的抽象规则仍能被激活，实现对未见长度结构的成功迁移，表明 SRN 对底层结构的迁移已超越具体位置与长度限制。

#### 审稿人 2 的意见以及回复

问题 1：将已习得的为 10 的规则迁移到未见长度（长度为 8 与 12），都是在同一维度——长度上进行迁移，为什么就称为远距离迁移，读者可能会产生困惑，还请作者补充相应说明。

回复：确如您所说，将在同一长度维度上的迁移称为“远距离迁移”并不准确。因此，我们删除了相关表述，改为使用“对远距离规则的跨长度迁移”、“在未训练长度上的迁移表现”等更为具体、准确的说法。

问题 2：讨论可进一步结合研究的设想与有关理论，进行更深入的挖掘分析，使讨论更丰富。

回复：感谢您宝贵的意见！我们已结合研究的设想和相关理论，对结果进行更加深入的挖掘和分析，丰富了相关讨论内容，具体内容如下：

本研究旨在探讨 SRN 是在人类远距离规则学习和迁移能力上的模拟表现。结果显示，与前人研究一致，SRN 能够显著区分远距离规则的合法串和非法串（李菲菲，刘宝根，2018）。考虑到当前研究中合法串和非法串的表面特征差异已经得到控制，这种区分能力可被认为与刺激材料的表面特征无关。进一步的，SRN 还能将学到的远距离规则迁移至未曾训练过的不同长度新测验串中，且 SRN 表现出的迁移能力不受新测验材料长度的限制，不论是比训练材料更短的测验串还是更长的测验串，只要远距离映射结构不变，其均能表现出显著的迁移能力。与人类行为数据的匹配分析则发现，SRN 在一些模型中的学习和迁移表现与人类被试的表现相似。可见，SRN 确实具备模拟人类规则学习和迁移表现的能力，且其学习到的，并在新情境中迁移运用的是远距离抽象规则，而非某些依赖于表面特征的规律。

值得注意的是，先前研究中 SRN 对远距离规则的学习是通过是否能够习得具体的远距离位置之间的映射关系来检验的（李菲菲，刘宝根，2018；Kuhn & Dienes, 2008）。而远距离规则被认为存在值—值的表征和变量—变量表征两种可能的表征方式。前者指的是被试可能习得某个位置和另一个位置元素之间存在的简单值-值对应关系；后者则是指被试获得了变量和变量之间的复杂规则而非特定的值和值之间的简单对应关系（Dienes & Longuet-Higgins, 2004）。简单通过对具体的远距离位置之间映射关系的习得无法探察 SRN 习得的是值-值对应关系还是抽象复杂的远距离规则。本研究检验 SRN 对长度不同但远距离映射结构相似的新材料的迁移能力，证明了 SRN 习得的是变量-变量层面的抽象对应关系，即 Marcus（2001）所谓的“变量上的运算”，显示出其对非局部依赖结构的学习能力。

本研究不仅从模拟角度验证了 SRN 在远距离规则学习与跨长度迁移任务中的有效性，也进一步支持了其作为人类内隐学习与迁移认知机制建模工具的巨大潜力。正如 Reed（2019）所指出，连接主义模型不仅是人工智能技术路径，

也可作为理论工具服务于认知心理学研究。通过将 SRN 等神经网络模型作为理论工具，研究者能够深入探究人类认知中如何无意识地加工复杂结构，同时促进 AI 算法在处理结构性知识、推理与迁移学习等方面的优化。已有研究显示，SRN 通过递归连接整合历史信息，可在无外显规则提示下形成对输入结构的内隐敏感性（Peña et al., 2002）。本研究进一步揭示了 SRN 不仅可以在无外显规则提示的情境下习得远距离规则，还能够将其迁移至长度不同的新材料中，表现出一定的结构学习与迁移能力，这一结果为其对人类内隐学习及迁移的模拟能力提供了新的支持。可见，SRN 不仅能够模拟任务表现，还为揭示人类认知系统中规则学习与迁移的潜在机制提供了强有力的计算模型支持。特别是在远距离抽象规则的学习与迁移方面，相关的模拟研究构建了认知科学与人工智能领域之间的桥梁，促进了这两个领域的双向发展和理解。

SRN 能够习得远距离规则以及实现跨长度迁移，关键在于其上下文单元所构成的时间延迟反馈机制。SRN 的隐含层激活状态不仅受到当前输入的影响，也会整合前一时刻的隐含层激活状态（Elman, 1991; Magnuson & Luthra, 2024），从而实现了对序列历史信息的持续记忆与动态整合，这一机制赋予网络对长距离依赖关系进行加工的能力，使得 SRN 可以建立非相邻元素之间的结构依赖关系的概率表征。从远距离结构规则学习和迁移的角度来看，SRN 在训练阶段通过预测下一个元素来持续调整内部权重，从而建立对“平仄”类别之间远距离映射规则的抽象加工能力。当测验阶段输入长度发生变化时，这种类别层面的抽象规则仍能被激活，实现对未见长度结构的成功迁移，表明 SRN 对底层结构的迁移已超越具体位置与长度限制。

问题 3: 图 2 的横坐标为 12 的长度应体现出 12。

回复: 图中的横坐标“长度 12”实际上指的是长度为 12 时，模型的任务表现水平，使用不同长度测验组网络模拟表现的 z 分数来量化，具体的计算可见文中数据分析计划部分。鉴于图中直接使用“长度 12”容易造成误解，我们

已全面修改了图中横纵坐标的表达。感谢您的宝贵建议，帮助我们进一步完善研究成果的呈现方式。

问题 4: “还有个别表述细节问题，见传回的全文中的颜色字体。”

回复：感谢您的细致审阅！因为提及的传回全文稿件是关于“自闭症相关的文章”，我们未能看到您的标注。正如您所指出的，文中一些表述确实有不够准确之处，对此，我们已对全文进行了认真通读，并对文字作了全面检查和细致修改。若文中仍存在不准确之处，恳请您继续指导，我们将认真吸收并进一步完善。

## **第二轮修改：**

编辑部审核意见：请作者对文字和语言进行进一步提升，并请中级职称及以上同行进行挑剔性阅读。

回复：针对编辑部的意见，对文章进行了文字和语言的进一步提升，并邀请了中级职称及以上同行进行挑剔性阅读。具体修改如下：