

基于多层感知机的中间层学习研究

遇铁龄¹ 孙夏蕾²

1. 威海市教育教学研究院; 2. 威海恒山实验学校

摘要: 本文借鉴多层感知机的中间层结构, 创新性地提出定位于浅层学习与深度学习过渡区间的“中间层学习”的概念, 尝试回答费伦斯·马顿和罗杰·萨尔乔关于学习中未知水平的分类问题。结合深度学习和浅层学习的研究, 提出中间层学习的概念内涵、内在逻辑, 总结中间层学习的结构灵活性、功能隐藏性、发展双向性和反馈循环性的四个特点, 展望未来中间层学习的发展趋势, 从而为中间层学习的后续研究提供参考和借鉴。

关键词: 中间层学习; 深度学习; 浅层学习; 多层感知机

引言

在 1976 年, 费伦斯·马顿 (Ference Marton) 和罗杰·萨尔乔 (Roger Säljö) 开展了一系列针对大学生的阅读实证实验。基于学生进行信息处理的不同水平以及在学习成果上所观察到的层级差异, 将学习分为表层水平 (Surface level)、未知水平 (Not clear) 和深层水平 (Deep level)^[1]。表层水平对应表层学习、浅层学习, 深层水平对应深度学习、深度学习。此后, 深度学习的相关理论在欧美国家得到快速发展^[1]。1997 年, 薇薇恩·比蒂 (Viven Beattie) 和比尔·柯林斯 (Bill Collins) 等对深度学习和浅层学习的二分类提出疑问, 认为深度学习和浅层学习的分类过于简单^[2], 但是没有对学习中的未知水平进行讨论。

2005 年何玲、黎加厚把深度学习和浅层学习的概念引入国内^[3]。此后, 随着互联网、信息技术、移动互联网的飞速发展, 国内学者对深度学习进行了深入研究, 逐渐形成了迁移说和素养说的共识^[4]。在知网中, 以深度学习为篇名可以搜索到 8 万多篇文章, 以深度学习为篇名可以搜索到 200 多篇文章, 以浅层学习、表层学习为篇名可以搜索到 24 篇、35 篇文章, 以学习中的未知水平、中间层学习为篇名可以搜索到 0 篇、7 篇文章, 这 7 篇文章大多数属于计算机领域, 与教育领域无关。

综合来看, 当前呈现出过度重视深度学习研究、轻视浅层学习研究, 且忽视学习过程中未知水平研究

的显著特点。

一、多层感知机的中间层结构

在 1986 年, 戴维·鲁梅尔哈特 (David Rumelhart)、杰弗里·辛顿 (Geoffrey Hinton) 和罗纳德·威廉姆斯 (Ronald Williams) 等学者针对感知机在处理非线性问题时所表现出的局限性^[5], 首次提出了一种创新的解决方法——反向传播算法^[6]。这一突破性的算法不仅揭示了多层感知机的中间层结构的关键作用, 还极大地推动了多层感知机的快速发展, 为现代人工神经网络的崛起奠定了坚实的基础^[7]。

多层感知机 (Multi-Layer Perceptron) 简称为 MLP, 由输入层、输出层和若干相互紧密连接的中间层 (Intermediate Layers) 组成, 中间层也被称为隐藏层 (Hidden layers)^[7]。相对于输入层和输出层来说, 中间层的层数、每层节点的数量和激活函数都是不确定的, 需要根据具体的学习任务确定。

二、中间层学习的概念内涵

浅层学习一般以记忆、背诵为主^[3], 属于低水平的认知加工过程^[8], 对应布卢姆认知领域学习目标分类的“知道、领会”^[9]或“知道、理解”^[10]和“知识、理解、应用”^[11]层次, 本质上反映学生的低阶思维活动^[12]; 深度学习是有意义的理解性学习^[13], 对应布卢姆认知领域学习目标分类的“应用、分析、综合、评价”^[9]或“应用、分析、评价、创造”^[10]和“分析、综合、评价”^[11]层次, 反映学生对知识的结构化整合与批判

基金项目: 本文系山东省教育教学研究 2024 年度一般课题“指向数字化学习与创新的义务教育段信息科技实验教学研究” (课题编号: 2024JXY190); 山东省人工智能教育研究 2025 年一般课题“基于大模型的小学课堂问题与情境设计研究” (课题编号: SDDJ202501073); 威海市义务教育教学改革 2025 年度课题项目“基于生成式人工智能的乡村小学高年级课堂问题设计范式研究” (课题编号: KY2025163) 的阶段性研究成果。

作者简介: 遇铁龄 (1982—), 男, 硕士, 高级教师, 研究方向为信息科技教学、人工智能教育。
孙夏蕾 (1993—), 女, 本科, 中级教师, 研究方向为信息科技教学。

性运用,本质上反映学生的高阶思维活动^[3]。“应用”层次在不同分类体系中呈现双重属性:既可能是浅层学习中知识的简单迁移,也可能成为深度学习中分析与创造的起点。这种重叠性印证了浅层与深度学习的边界并非泾渭分明,而是存在过渡性的认知活动区间。

借鉴多层感知机的中间层对特征进行渐进式抽象的机制,本文提出中间层学习(Intermediate Layer Learning)的概念。中间层学习定位于浅层学习与深度学习的过渡区间,但其边界并非绝对割裂——正如多层感知机中不同层的特征表示存在连续性,学习过程的认知层级也呈现动态演化的特征。中间层学习不局限于特定认知阶段,而是贯穿布卢姆认知领域学习目标分类的所有层级,其本质是低阶思维向高阶思维转化的动态演进过程——强调认知能力从“起点”到“目标”的连续性提升路径,而非静态的层级归属。

三、中间层学习的内在逻辑

学习过程呈现出阶段性发展的逻辑特征:以“知道、领会、理解”和简单“应用”为基础,构成认知发展的初始阶段,即学习过程的“起点”——浅层学习;以批判性思维与创新应用为导向,“分析、评价、创造”和复杂“应用”代表着认知发展的理想状态,也是学习过程的“目标”——深度学习;而中间层学习则作为连接两者的“通道”,凭借特征抽象、关联构建等机制,推动认知从低阶思维向高阶思维逐步跃迁,其内在逻辑类似于多层感知机的中间层对输入信息的逐层加工,在学习进程中起着承上启下、促进认知升级的关键作用。

与多层感知机的中间层结构类似,中间层学习包括很多中间子层,每个中间子层包括很多学习节点,中间子层表示不同的学习层次,学习节点表示具体的学习过程,例如:识记理解往往处于较低的层次,迁移学习往往位于较高的层次;针对小学语文低年级的古诗内容,识记理解中间子层包括对拼音的识记节点、对文字的识记节点和对标点符号的识记节点等。

中间层学习结构包含多个中间子层级,与多层感知机的中间层结构具有同构性,每个子层级由若干学习节点构成。其中,中间子层级表征不同的学习层级,学习节点对应具体的学习进程。从认知层次来看,识记理解等基础能力通常处于较低层级,而迁移学习等高阶能力则位于较高层级。以小学语文低年级古诗教学^[14]为例,识记理解中间子层级可解构为以下学习节点,如拼音识记节点——聚焦古诗生字的声韵调辨识与拼读规则掌握;文字识记节点——涵盖字形结构分析、部首归类及字义关联记忆;标点符号识记节点——

侧重断句符号(如逗号、句号)的语义功能理解与规范使用。

中间层学习依托分层级的节点设计,构建起从基础表征到高阶抽象的认知跃迁路径,这一过程深刻体现了其内在的认知发展逻辑——通过各子层级学习节点的有序递进与交互作用,实现从具象识记到抽象迁移的螺旋式上升。该结构既扎根于认知科学的理论根基,通过中间层学习节点的分层解构确保教学目标的可操作性,立足教育实践场景,以层级化设计适配不同阶段的认知发展需求,为教学设计提供了兼具理论严谨性与实践操作性的科学框架。

四、中间层学习的特点

中间层学习位于学习过程的核心过渡环节,借鉴多层感知机中间层的非线性映射、特征分层提取、信息交互处理等特点,可归纳出以下特性:

(一) 结构灵活性

多层感知机的中间层结构具有显著的动态调整特性,其层数、节点数量及激活函数均需依据具体学习任务进行定制化配置。与之相似,中间层学习同样呈现出结构灵活性:其层级划分与节点布局并非固定不变,而是需紧密围绕学习内容的复杂度、学生认知水平等要素灵活调整。例如,针对小学语文低年级古诗教学,可将识记理解中间子层级拆解为拼音识记、文字识记、标点符号识记等基础节点;而对于小学语文高年级古诗教学,识记理解中间子层级则需增设语法理解、文化背景理解等进阶节点。

中间层学习结构的灵活性本质上是中间层学习内在逻辑递进性的表现。如同多层感知机通过分层逐步提取特征,中间层学习的动态节点设计能够精准适配不同学习阶段的认知需求——在基础层级通过具象化节点完成知识识记,继而在进阶层级借助抽象化节点实现分析与迁移,最终形成从基础表征到高阶应用的有序认知链条。通过结构灵活性与逻辑性的有机结合,中间层学习既能满足多样化教学场景需求,又能保障认知发展的连贯性与系统性。

(二) 功能隐藏性

多层感知机的中间层又称为隐藏层,其功能无法通过直接观测获取,而是在输入与输出的映射过程中,通过复杂的参数调整和特征变换实现数据处理^[15]。与之类似,中间层学习的具体功能同样具有“隐藏”的特性:学生在中间子层与节点的认知活动中,通过对知识的编码、整合与重构,完成内隐性的思维加工过程^[16]。例如,在数学几何图形学习中,学生通过观察图形特征、绘制辅助线、推导公式等中间层学习节点,

逐步构建起空间想象与逻辑推理能力,这些思维发展过程难以直观量化,却真实作用于知识内化与能力提升,体现了中间层学习功能的内隐性与不可见性。

中间层学习功能的隐藏性与心理学中的内隐学习理论形成深刻呼应。内隐学习指有机体在与环境接触交互中无意识获取经验并改变事后某些行为的学习,其核心特征是知识获取的非刻意性与认知加工的自动化,这恰与中间层学习的“隐藏性”形成理论共振。在中间层学习中,学生通过各子层节点的认知活动(如观察、操作、推导等)完成知识的编码与重构时,往往并未意识到自身正在进行抽象规则的归纳^[17]。相较于外显学习的刻意性与逻辑性,中间层学习的功能隐藏性通过内隐学习机制,实现了“做中学”与“悟中学”的有机统一,为解释学习过程中“知其然而不知其所以然”的现象提供了跨学科的理论支撑^[18]。

(三) 发展双向性

在多层感知机中,数据不仅从前向传播完成特征提取,还通过反向传播优化参数,形成双向流动机制。与之类似,中间层学习的发展同样呈现双向性的特征:一方面,学习进程从低阶到高阶进行前向推进,如从语言学习中的词汇记忆逐步过渡到篇章理解;另一方面,高阶认知成果(如知识迁移应用)会反向作用于低阶学习节点,帮助学生查漏补缺、深化理解。同时,中间层学习节点之间形成双向流动,学生在完成某一节点任务后,可通过自我评估、小组互助和教师指导等方式获取反馈,动态调整后续学习策略,这种双向发展的机制,使得中间层学习成为一个持续迭代、螺旋上升的认知系统。

中间层学习发展的双向性是中间层学习内在逻辑和结构灵活的必然结果。如同多层感知机的前向传播与反向传播的双向机制的核心在于激活函数的非线性映射,中间层学习的前向推进(如词汇记忆节点到篇章理解节点)与反向反馈(如篇章理解节点反哺深化词汇记忆节点)并非线性因果关系,而是通过中间层学习节点间的非线性交互形成认知网络,认知网络的双向反馈(如自我评估、小组互助和教师指导)会进一步引发中间层学习节点的重组,这种非线性重组导致循环网络产生涌现效应,实现认知模式从线性叠加到涌现创新的跃迁。

(四) 反馈循环性

多层感知机通过多次前向传播和反向传播进行反馈,反复循环,不断优化激活函数的参数,提高激活函数的非线性映射水平,提升多层感知机网络的认知能力。与之相似,中间层学习同样呈现出反馈循环性:

中间层学习的前向传播按照起点层(低阶思维)、低层中间层(具体行为节点,提取基础特征)、高层中间层(高层抽象节点,整合抽象特征)、目标层(高阶思维)的方向完成对客体认知内容的提升;中间层的反向传播按照目标层(对比反思)、高层中间层(高层抽象节点,抽象分析综合)、低层中间层(具体行为节点,识记理解应用)、起点层(再认知)的方向完成对主体认知结构的重构。中间层学习的反馈循环性,本质上是中间层特征表示的自迭代优化过程,与多层感知机的训练机制相同。

中间层学习的反馈循环性本质上是认知系统的自组织优化机制,与多层感知机通过前向传播反向和传播实现模型迭代的逻辑高度同构。在认知加工层面,这种循环性体现为“输入、处理、输出、反馈和重构”的逻辑闭环:当学生完成某一阶段的认知任务(如小学数学中计算圆的面积),目标层的反思对比(如答案的正确性评估)会触发反向传播行为,高层中间层对解题策略进行分析(如判断是否误用圆的面积公式,对应分析应用节点),低层中间层则回忆识记理解情况(如圆的面积公式是否记忆准确,对应识记理解节点),最终促使起点层的再认知(如重新理解题意)。这种循环并非简单的重复,而是通过每轮反馈对学习节点的认知策略进行动态调整:例如在语文阅读理解中,如果高阶主旨归纳出现偏差,在反向传播过程中,反馈增强“关键词提取”、“段落逻辑分析”等低层节点的学习强度,形成类似多层感知机中梯度下降的认知优化路径。

从认知发展视角看,反馈循环性与结构灵活性、发展双向性形成协同效应:中间层学习结构的动态调整为反馈提供可重构的层次和节点基础,双向流动则保障反馈的多向传递。这种机制使中间层学习突破线性积累的局限,呈现出类似多层感知机的“训练和收敛”的自适应特征——学习者在反复的“学习、反馈和修正”中,逐步将外显的学习行为内化为隐性的认知策略,如小学高年级的学生通过朗诵、理解和赏析古诗,无意识的体会到作者的心境,感受到作者传递的真挚情绪,这正是反馈循环性驱动内隐学习的典型表现。与多层感知机需依托海量数据迭代更新提升性能类似,中间层学习同样依赖学习中反馈循环的频次与质量;同时中间层学习的层数、节点数也会同步动态更新,每一轮学习都是对认知的一次“梯度更新”,最终推动认知从初始“起点”向“目标”维度实现质的跨越。

五、中间层学习的发展趋势

从中间层学习研究的发展趋势来看,其与反向传

播的关联将成为重要研究方向。在学习过程中,学生解决具体问题的过程恰似多层感知机的正向传播,而问题解决后对大脑认知结构的重塑则对应反向传播,因此反向传播算法对中间层参数的优化机制^[6],能够为剖析中间层学习动态调整规律提供技术支撑。量化研究层面,可深度融合神经科学监测技术与机器学习模型,通过fMRI、EEG等手段捕捉学习时大脑神经活动^[19],结合机器学习算法建立认知变化数据模型,实现中间层学习效果的精准量化评估。在学科应用上,中间层学习理论与中小学语文、数学、科学等学科的融合极具潜力,例如在语文教学中助力文本深度理解,数学教学里强化解题思路构建,科学教学中优化实验逻辑分析,从而推动基础教育领域的教学模式创新与学习效率提升^[20]。

六、结语

中间层学习聚焦被长期忽视的学习过程中未知水平的研究,回应了对深度学习和浅层学习的二分类质疑,从内涵、逻辑、特点等维度构建了中间层学习研究的理论框架。这一尝试不仅为中间层学习研究的发展奠定了基础,也为促进学生深度学习研究提供了新的思路。

参考文献:

- [1] Marton F, Säljö R. On Qualitative Difference in Learning: I—Outcome and Process[J]. British journal of educational psychology, 1976, 46(2): 115–127.
- [2] Beattie V, Collins B, McInnes B. Deep and surface learning: a simple or simplistic dichotomy? [J]. Accounting Education: An International Journal, 1997, 6(1): 1–12.
- [3] 何玲, 黎加厚. 促进学生深度学习 [J]. 现代教育, 2005, (05): 29–30.
- [4] 李晓雅. 深度学习研究: 国内学术史的回顾与反思 [J]. 宜宾学院学报, 2020, 20(3): 17–25.
- [5] Minsky M L, Papert S. Perceptrons: An Introduction to Computational Geometry [J]. The MIT Press, 1991.
- [6] Rumelhart D E, Hinton G E, Williams R J. Learning Representations by Back-Propagating Errors [J]. Nature, 1986, 323(6088): 533–536.
- [7] Pal A, Rathi Y. A review and experimental evaluation of deep learning methods for MRI reconstruction [J]. Mach Learn Biomed Imaging. 2022 Mar; 1:001. Epub 2022 Mar 11.
- [8] 何克抗. 深度学习: 网络时代学习方式的变革 [J]. 教育研究, 2018, 39(5): 111–115.
- [9] 张浩, 吴秀娟. 深度学习的内涵及认知理论基础探析 [J]. 中国电化教育, 2012(10): 7–11.
- [10] 安富海. 促进深度学习的课堂教学策略研究 [J]. 课程·教材·教法, 2014, 34(11): 57–62.
- [11] 郭亦荣. 深度学习的本质、困境及策略 [J]. 教学与管理, 2018(34): 1–4.
- [12] 郭元祥. 深度学习: 本质与理念 [J]. 新教师, 2017(07): 11–14.
- [13] 常立娜. 深度学习文献综述 [J]. 开放学习研究, 2018, 23(2): 30–35.
- [14] 于雪. 思维导图在小学低年级古诗教学中的应用研究 [D]. 喀什大学, 2019.
- [15] 郭秀艳, 杨治良. 内隐学习与外显学习的相互关系 [J]. 心理学报, 2002(4): 351–356.
- [16] 张卫. 内隐学习及其特征研究 [J]. 华东师范大学学报 (教育科学版), 2001(1): 56–63.
- [17] 郭秀艳. 内隐学习: 一种不知不觉的学习 [J]. 教育科学, 2003(6): 41–44.
- [18] 冯正宁. 时间序列内隐学习的跨通道研究 [D]. 华东师范大学, 2023.
- [19] 林郁泓, 叶超群, 刘春雷. 创造性思维的认知神经机制: 基于 EEG 和 fMRI 研究证据 [J]. 心理研究, 2021, 14(2): 107–117.
- [20] 吴永军. 关于深度学习的再认识 [J]. 课程·教材·教法, 2019, 39(2): 51–58.