

复杂性科学视域下的学习干预： 概念解析、核心要素及模型构建

田浩¹，武法提²

(1.北京师范大学教育技术学院，北京 100875；

2.数字学习与教育公共服务教育部工程研究中心，北京 100875)

[摘要] 迅猛发展的智能技术在变革教育样态的同时，也使得教育的复杂性本质日益凸显。立足复杂性科学视角开展精准化、个性化的学习干预有利于满足学习者学习实践中的现实需求。文章在阐述了复杂性科学与学习干预的基本概念之后，对复杂性科学指导学习干预实施的适切性进行了分析。进而从学习问题诊断、干预策略匹配、干预策略实施、干预结果分析四个核心要素出发，分别解析了学习干预的复杂性特征，并由此构建了复杂性科学视域下的学习干预模型，包含问题诊断层、动力引擎层、推理匹配层和进化适应层四个逻辑层次，依次描绘了基于学习分析技术的学习问题发现、基于元素自组织的学习问题归因、基于因果链推理的干预策略匹配以及基于多主体进化的干预策略实施。该模型形成了完整的智能学习服务路径，为智能时代开展人机协同的精准学习干预提供了理论与实践依据。

[关键词] 复杂性科学；学习干预；智能教育；模型构建

[中图分类号] G434

[文献标志码] A

[作者简介] 田浩(1994—)，男，山东滨州人。博士研究生，主要从事智能教育、多模态学习分析研究。E-mail: tianhao@mail.bnu.edu.cn。武法提为通讯作者，E-mail: wft@bnu.edu.cn。

一、引言

以大数据、区块链、人工智能为代表的智能技术正在深刻改变教育形态，促进了教育要素重组、教学流程再造与教育模式创新，重塑了新型教育生态^[1]。智能技术在变革当前教学样态的同时，也使得教育的复杂性本质日益凸显^[2]，具体表现为学习场景泛在化、学习主体多元化、学习过程动态化、学习内容碎片化等特征。学习者随之出现的学习路径难导航、有效信息难过滤、个性化需求难解决等典型学习问题也不容忽视^[3]。因此，在纷繁复杂的学习场景中，如何为学习者提供更加个性化、精准化的学习服务是优化学习过程、改善学习结果的核心议题。

在学习服务的范畴中，学习干预是一类重要的实践形式。纵观现有的学习干预实践，主要依靠教师经

验对学生的状态进行判断，并由人工进行干预实施。一方面受限于教师的精力，难以兼顾干预的规模化与个性化；另一方面则容易存在“头痛医头，脚痛医脚”的弊端，干预过程流于简单化与机械化，导致无法还原学习者真实的学习过程，难以回应学习者在复杂教育场景下的现实诉求。基于此，本文立足于复杂性科学的视角，深度解析学习干预核心要素的复杂性特征，并构建复杂性科学视角下的学习干预模型，力图为智能时代新型学习服务模式的研究提供一个可行性视角。

二、相关概念解析与适切性分析

(一)学习干预

在传统教育的语境下，学习干预是指为了帮助学习者克服学习困难，提供的一切支持策略和学习活动

的综合^[4]。上述观点的逻辑前提是学习过程具有一定的动态性与可塑性,因此通过对学习者施加一定的学习干预,可以使得学习者的学习状态与学习结果向着理想的方向演进^[5]。经过了漫长的学习干预实践,若干学习干预模型被广泛使用并验证了其有效性,其中最为经典的是干预反应模型(Response to Intervention,简称 RTI 模型)^[6]。RTI 模型将干预过程分为三个级别,随着等级的提升,干预主体逐渐聚焦、干预强度逐渐加强,形成了干预实践的连续体^[7]。然而,传统的学习干预主要存在两方面弊端:其一,较为依靠教师对学生的直观判断,难以有效针对学生的内在认知状态进行干预;其二,干预需要教师的人工高度参与,难以顾及每位学习者,干预的精准性与个性化大打折扣^[8]。

为了克服上述弊端,伴随学习分析技术的兴起,数据驱动的学习干预具有新的内涵阐释。具体来说,数据驱动的学习干预就是采集学习者的过程数据与结果数据,通过学习者建模,对学习者的学习状态进行评估与判断,进而为存在风险的学习者提供适切的学习资源与学习支持的过程^[9]。依靠学习分析与数据挖掘技术,可以超越人类教师的主观经验,对学习者的问题进行更加精准的诊断。另外,学习干预的教育作用也面临着从“治疗”到“服务”的演变。在传统语境的假设下,只有当学习者出现了某些方面的问题,才需要对其施加干预。而数据驱动的学习干预则更加拥抱人本主义观念,认为每位学习者都是个性化的,因此需要为每个人提供适应性的学习服务^[10],以优化学习者的学习过程。

(二) 复杂性科学

霍金认为,21 世纪是属于复杂性科学的世纪。复杂性科学并非与自然科学、社会科学等并列的科学领域,而是层次更加上位,反映科学基础和思维方式转型的一门科学^[11]。传统研究大多属于简单性科学,遵循的是还原论思想,即把事物整体分割成部分,通过叠加对部分的认识,进而描绘出整体的图景^[12]。复杂性科学则基于整体论思想,认为还原论是一种线性的观点,对于事物的处理过于简单化和机械化。智能体作为研究对象是一个整体,各要素通过非线性相互作用会产生功能和形态的涌现,系统整体会呈现出与组成要素迥然不同的新特征和新秩序,因此从部分认识整体不可避免具有局限性。以非线性为必要条件,复杂系统还具有开放性、动态性、自组织性、涌现性等特征,传统研究方法难以对复杂系统进行清晰的认识,因此在相关研究中引入了模型、数值、计算、模拟等方

法^[13]。

在叶澜教授看来,教育可能是人世间复杂问题之最^[14],应从复杂性科学的视角来认识教育问题。何克抗教授^[15]等学者都曾主张将复杂性科学引入教育技术领域。在教育研究中,复杂性科学思维也早有体现。如皮亚杰的认知理论认为,学习者的认知图式可以通过同化与顺应实现对于外界环境变化的适应,学习的发生就是从认知图式的一个平衡状态过渡到更高平衡状态的过程^[16],这一学习者自主完成认知由无序到有序协调演化的过程体现了复杂系统自组织的特性。又如格式塔心理学强调经验和行为的整体性^[17],其指导下的学习观认为学习即顿悟,这一各要素之间通过非线性作用产生新秩序的观点体现了复杂系统的涌现性。除此之外,时龙从复杂性科学的视角描绘了学校发展与变革的机制^[18];郑永和等人指出应依据复杂性科学的原理剖析并解释教育生态系统的演化规律^[19];张婧婧等人则依据在线学习的复杂性特点,构建了在线课程的集体注意力流系统^[20]。

(三) 复杂性科学支持学习干预的适切性分析

复杂性科学认为,系统内各元素之间不断进行非线性作用和自组织过程,可以推动系统状态的变化和演进。而学习干预旨在将干预策略作用于学习者与学习过程,通过策略与主体的相互作用,实现学习者状态的改善与学习过程的优化,这与复杂性科学的理念相吻合。

因此,复杂性科学可以为深度解析学习干预的运行机制提供理论支持与观察视角,主要体现在三个方面(如图 1 所示):首先,学习干预是一个系统化过程,需要遵循复杂性科学中整体性的特点,同时观照学习活动前、中、后等不同阶段,并需要学习者、教师、智能代理等多方主体共同参与;其次,学习干预的价值旨趣是促进学习者的发展,优化学习过程,实现干预系统向着良性方向演化;最后,学习干预并非是一蹴而就的过程,应借助复杂系统中的反馈机制,根据干预策略具体的实施过程不断迭代循环,对干预方案进行调整,实现干预效果的最优化。

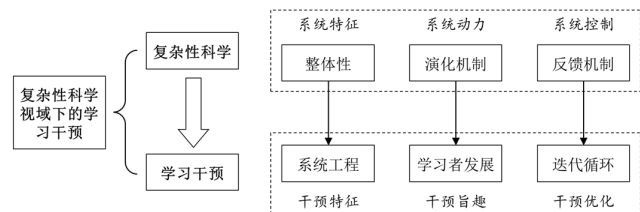


图1 复杂性科学支持学习干预的适切性分析

三、复杂性科学视域下的学习干预 核心要素及特征

苗东升教授认为,复杂性科学带来了认识论转向,帮助研究者由实验室研究走向现场实践^[21]。作为优化教育实践的关键环节,学习干预需要基于复杂性科学的视角来反映其有效发生的内在机理与规律。本研究借鉴李彤彤等人的观点,将学习干预分为学习问题诊断、干预策略匹配、干预策略实施、干预结果分析四个核心要素。四个要素层层递进、首尾相连,构成了学习干预实践的完整闭环链路。其中,每个阶段都体现了学习干预的复杂性本质,如图2所示。

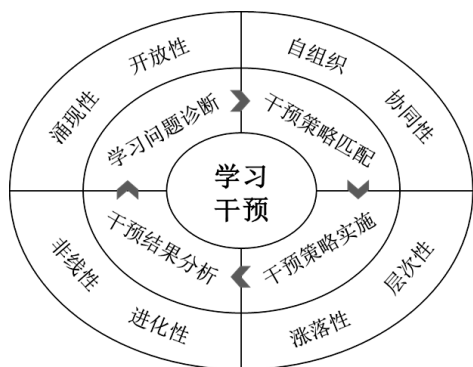


图2 学习干预核心要素及其复杂性特征

(一)学习问题诊断的涌现性和开放性

学习问题诊断就是收集学习者的学习过程数据与结果数据,通过学习者建模,并借助学习分析相关技术,发现学习薄弱点的过程。学习问题诊断是学习干预的起点与实践依据。在复杂性科学的视角下,学习问题诊断具有涌现性、开放性的特征。

其一,学习问题诊断的涌现性。一方面,学习问题的出现受到内外部多种因素的共同影响,教师无法提前预设学习者的全部学习问题,学习问题是学习者在与同伴、教师以及学习环境的互动过程中不断涌现出来的。另一方面,学习者也是一个复杂的主体,随着学习者持续获取、建构知识,其认知状态和认知能力不断发展,学习问题也会涌现出新的特征。因此,需要对学习过程进行持续追踪,以获取实时的学习问题状态,实现对学习者的精准建模。

其二,学习问题诊断的开放性。一方面,学习系统不是一个封闭的系统,学习过程与外界环境相互关联,并与外部系统及内部子系统不断进行信息、物质和能量的交换,因此是一个动态的开放系统,学生常见的学习问题库也并非一成不变,而是随着实践进程不断扩展更新。另一方面,学习问题的范畴也具有开放性,以往研究中大多将学习问题局限于学习结果或

知识掌握方面的问题,但是随着对学习主体性的认识以及对学习过程的重视,学习者的能力、素养以及个人品格,都应纳入学习问题诊断的范畴。

(二)干预策略匹配的自组织和协同性

干预策略匹配就是根据学习问题的诊断结果,从干预策略库中选取适切的干预策略,以适应学习问题的过程^[22]。干预策略匹配是确保学习干预成功的基础环节。在复杂性科学的视角下,干预策略匹配具有自组织、协同性的特征。

其一,干预策略匹配的自组织。自组织是指系统中的元素在非强制指令的作用下,由无序混乱自发演变为有序协调状态的过程^[23]。以往的学习干预研究往往囿于学习者暴露出的表象问题,难以明确实际症结所在,因此是一种“头痛医头、脚痛医脚”的机械式干预^[24]。随着学习过程的推进,学习问题不断涌现,且问题并非孤立存在,学习问题之间可以相互关联,通过自组织的方式形成问题图谱,有利于对当前学习问题的产生机制进行精准溯源归因,从而提升干预策略匹配的准确性。

其二,干预策略匹配的协同性。协同性的第一个层次体现为人机协同,因为干预系统具有复杂性,单纯依靠人类教师或智能代理都难以进行精准的干预策略匹配。对于人类教师而言,人工实施教学干预需要耗费较高的人力物力,并且难以顾及每位学习者的个性化需求^[25];对于智能代理而言,人工智能更适合处理封闭、单一的问题^[26],对于具有开放、多元特性的复杂干预系统,往往力不能及。协同性的第二个层次体现为社会化协同,教师在进行干预策略匹配时,可以借鉴其他教师对类似问题的干预经验,实现群体智慧的汇聚。

(三)干预策略实施的涨落性和层次性

干预策略实施就是根据匹配出的干预策略,依据干预策略的属性(如干预强度、干预时机、干预频率等),拟定干预方案并面向学习者开展实施的过程。干预策略实施是连接干预研究与教学实践的中介环节。在复杂性科学的视角下,干预策略实施具有涨落性、层次性的特征。

其一,干预策略实施的涨落性。涨落性是指学习者的状态在多数时间内都处在一种相对稳定平衡的状态,虽然会受到内外部因素的影响而发生轻微的扰动,但是可以凭借自身的自我调节与适应能力维持学习状态的平衡^[27]。为了帮助学习者克服学习问题,在干预实施的过程中,需要借助干预策略引发学习者的认知冲突,增强学习过程的非线性作用,打破原有平衡;同时应提供必要的支持手段,增加学习者的学习

投入,帮助学习者建立新的平衡与秩序,实现由一个平衡状态向更高的平衡状态跃迁^[28],促进学习过程的改善。

其二,干预策略实施的层次性。干预是一个系统工程,干预策略根据作用时间和作用范围的不同,可以被组织成不同的层次类别。在作用时间层次,可以在学习活动前实施预防性干预,学习活动中实施诊断提醒类干预,学习活动后实施辅助反思类干预等;在作用范围层次,干预策略的实施可以面向不同的群体规模,例如针对班级整体实施普适性干预,针对风险学生实施个性化干预等^[29]。

(四)干预结果分析的非线性和进化性

干预结果分析就是在实施干预方案之后,判断学习问题在何种程度上被解决,并分析学习者状态的更新,从而决定下一轮干预起点的过程。干预结果分析是实现干预闭环,检验干预效果的重要环节。在复杂性科学的视角下,干预结果分析具有非线性、进化性的特征。

其一,干预结果分析的非线性。非线性是指系统内各要素之间的相互作用不符合线性特征,这是造成系统具有复杂性的核心特征^[30],导致了系统的随机性与不可预测性。在干预结果分析中,一方面,策略实施与学习成效之间存在非线性,学习者不是被动的知识接受者,而是主动的知识建构者,因此在实施干预的过程中,干预策略并非始终是客观稳定的“外部因素”,而是经过学习者加工从而具有主观特性的“内生因素”,容易产生无法预知的干预结果^[31]。另一方面,干预策略的作用具有时滞性特点,施加的某种学习干预往往要经过一段时间才会显现效果,期间学习者会与外界环境不断进行交互,使得多种影响交织在一起,增加了干预结果的不可预知性。

其二,干预结果分析的进化性。干预系统并非是静态的系统,而是不断演化的动态系统。一方面,学习者的状态不断进化,经过学习干预,学习者的知识掌握程度、学习能力等属性都有可能发生改变。另一方面,通过对干预结果的分析,能够判断当前干预策略与学习问题的适切程度,通过反馈可以对适切度较低的干预策略进行修正,实现干预策略的不断进化。

四、复杂性科学视域下的学习干预模型构建

复杂性科学对于剖析智能时代学习干预的过程,揭示学习干预的复杂性运行机理具有重要作用。根据学习干预的核心要素及复杂性特征,本文构建了复杂性科学视域下的学习干预模型,如图3所示。模型包

括问题诊断层、动力引擎层、推理匹配层以及进化适应层四个逻辑层次。在问题诊断层中,依据学习问题诊断的涌现性与开放性特征,同时采用学习分析、众包标注、专家预设多种方式,构建弹性学习问题库和动态干预策略库,保持其中要素的不断更新。在动力引擎层中,依据干预策略匹配的自组织与协同性特征,构建学习问题图谱和问题策略图谱,作为驱动后续干预策略匹配和实施过程的动力引擎。在推理匹配层中,基于学习问题图谱和问题策略图谱,由学习者当前学习问题出发,抽取学习问题链,并匹配对应的干预策略链,作为学习干预的系统化实施方案。在进化适应层中,综合考虑干预策略实施的涨落性与层次性特征,进行人机协同的策略实施,并基于干预结果分析的非线性与进化性特征,实现学习者与干预策略的协同进化。

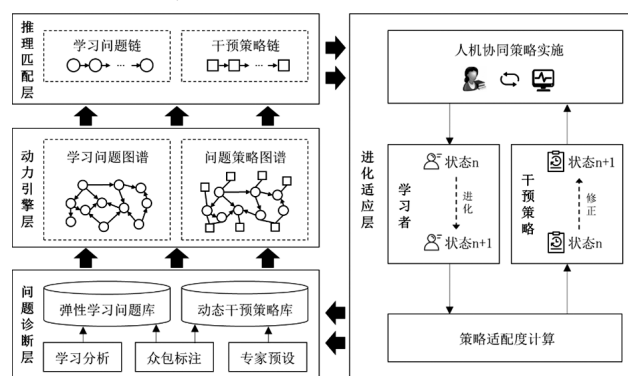


图3 复杂性科学视域下的学习干预模型

(一)问题诊断层:基于学习分析技术的学习问题发现

1. 场景化学习问题建模

学习过程作为一个开放的复杂系统,不断与外界环境进行信息、物质与能量的交换,因此若要精准诊断学习问题,基础是对学习问题发生的场景进行感知。首先,借助智能学习终端与物联感知设备,获取学习过程与学习环境的相关数据。其次,依据 xAPI 规范,使用 statement 语句将数据梳理为主谓宾格式的语义结构,存储在非关系型数据库中。进而,使用决策树、贝叶斯网络、支持向量机等机器学习算法,对学习过程数据进行挖掘,诊断学习者出现的问题类型,如学业情绪类问题、知识掌握类问题、学习投入类问题、认知能力类问题等;并使用时空聚类算法,对时间数据、空间数据、设备数据等场景信息进行感知,判断当前问题所处的学习场景,如作业场景、讨论场景、探究学习场景等。

2. 弹性学习问题库构建

为了更好地描述学习问题的语义特征,基于上述场景化学习问题建模的结果,本研究采用五元组对问

题诊断结果进行形式化表征: $Q=\langle q_n, q_d, q_t, q_s, q_r \rangle$, 其中, q_n 表示该问题的名称, q_d 表示该问题的分类, q_t 表示该问题出现的时间, q_s 表示该问题隶属的场景分类, q_r 表示该问题的严重等级。形式化表征之后的学习问题将被存入学习问题库中。值得注意的是, 学习问题在学习过程中是不断涌现的, 系统无法预设所有的问题类型与属性。因此, 当出现无法归类的学习问题时, 该问题将被随机发放给五位审核专家, 依据多数投票法决定问题是否可以被添加到问题库中, 并对其类别及属性进行标注。同时, 教师也可以根据自身经验, 人工向问题库中添加学习问题, 实现问题库的弹性扩展。

3. 动态干预策略库构建

为了解决相应的学习问题, 本研究构建了干预策略库, 并将干预策略以六元组进行形式化表征: $S=\langle s_n, s_c, s_t, s_i, s_f, s_m \rangle$, 其中 s_n 表示该策略的名称, s_c 表示该策略的分类, s_t 表示该策略适宜的干预时机, s_i 表示该策略适宜的干预强度, s_f 表示该策略适宜的干预频率, s_m 表示该策略适宜的干预方式。邀请专家对常见的干预策略进行预设(见表1), 并存储到干预策略库中。同时, 允许教师通过众包的方式向策略库中人工添加干预策略, 经专家审核后实现策略库的动态更新。

表1 干预策略库

干预策略属性	举 例
策略类别	可视化类(如学习进度可视化、互动内容关键词可视化); 诊断提示类(如弹出窗口、作业用时提醒); 社会支持类(如学习伙伴推荐、协作学习贡献度呈现); 学习内容类(如视频资源推荐、试题推荐); 建议引导类(如学习路径规划、阶段性评估报告); 教师会话类(如邮件、站内私信、面对面会话)
干预时机	课堂、课前、课后、作业、考试、讨论
干预强度	强、较强、一般、较弱、弱
干预频率	如每次特定活动触发、每天固定一次
干预方式	即时干预或非即时干预; 系统干预、人机协同干预或人工干预

问题诊断层的技术路线如图4所示。

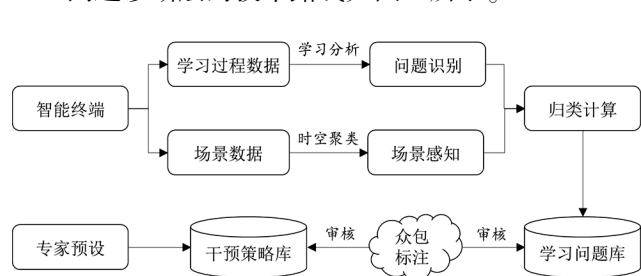


图4 基于学习分析技术的学习问题发现

(二) 动力引擎层: 基于元素自组织的学习问题归因

1. 学习问题图谱构建

在诊断出当前学习问题之后, 了解该问题发生的动力机制, 并对其产生过程进行溯源归因, 是保证干预精准性的重要步骤。因此, 通过分析学习问题库中各问题之间的关联关系, 可以构建出学习问题的关联图谱。借助学习问题图谱, 由当前问题进行溯源, 便可以实现对当前学习问题的归因, 帮助我们从根源上探查问题产生的机制。

学习问题由孤立状态演变为相互关联的问题图谱是一个自组织的过程。自组织就是系统在不受外力影响的前提下, 由无序自发变为有序的过程。经过自组织, 系统的不确定性降低, 系统熵值减小^[32]。因此, 学习问题图谱自组织的过程, 就是系统熵值最小化的过程。学习问题图谱的自组织需要满足两个约束条件: (1) 问题严重等级越高, 越容易导致其他问题发生; (2) 问题在图谱中与其他问题节点的连接越多, 越容易成为其他问题产生的动力源。基于此, 令问题 i 的度数 $d^{(i)}$ 表示与该问题相连的问题节点总数, 令问题 i 的加权重数 $dw^{(i)}$ 表示该问题的度数与严重等级的乘积, 即 $dw^{(i)}=q_r^{(i)} \times d^{(i)}$; 进而, 计算各问题加权重数的信息熵。由此, 学习问题图谱的总熵值 H 等于各问题节点信息熵之和(如公式1所示)。当系统总熵值保持最小时, 形成最终的学习问题图谱。

$$H=-\sum \frac{dw^{(i)}}{\sum dw} \log \frac{dw^{(i)}}{\sum dw} \quad (\text{公式1})$$

2. 问题策略图谱构建

除了学习问题之间存在关联, 学习问题与干预策略之间也存在关联。通过将学习问题与对应干预策略进行关联, 可以构建出问题策略图谱, 作为干预策略匹配的动力引擎。

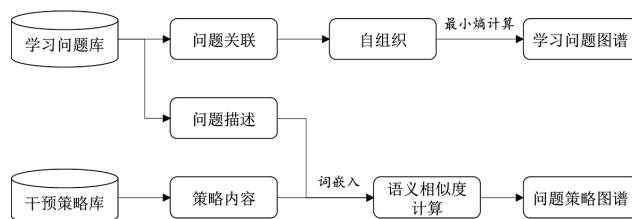


图5 基于元素自组织的学习问题归因

问题策略图谱的构建主要是通过计算学习问题描述与干预策略内容之间的语义相似度实现。首先, 将问题描述文本与策略内容文本通过 word2vec 词嵌入模型进行向量化处理; 其次, 遍历干预策略库中每条干预策略, 将当前策略内容的文本向量依次与各问

题的描述文本向量进行余弦相似度计算;最后,选取相似度最高的“问题—策略”组合,在两者之间建立关联,并遍历至下一条干预策略,直至所有干预策略都与学习问题建立关联,形成最终的问题策略图谱。

动力引擎层的技术路线如图 5 所示。

(三)推理匹配层:基于因果链推理的干预策略匹配

1. 学习问题链的溯源与提取

在构建了学习问题图谱与问题策略图谱之后,如何由当前问题推理出问题链,是精准匹配干预策略的前提。问题链代表当前问题产生的因果链条,反映了当前问题的发生路径。本研究采用定性比较分析(Qualitative Comparative Analysis,简称 QCA)作为问题链的提取方法。相比于传统定量分析方法,QCA 基于整体论思想,将影响当前问题的关节点视为条件集合,并通过集合隶属度计算进行因果推断,因此更加适合处理问题之间的复杂关联关系^[33]。

首先,根据学习问题图谱,溯源与当前学习问题有直接或间接关系的关联问题,形成关联问题集合;其次,计算关联问题集合中不同问题组合与当前结果的一致性;最后,提取超过一致性阈值的问题组合作为影响当前学习问题的问题链。通过 QCA 分析,可以生成问题链的中间解和简约解,简约解中蕴含的要素是核心问题,而仅存在于中间解的要素是边缘问题。核心问题表示与当前问题间存在较强的因果性,而边缘问题则表明与当前问题间的因果性较弱^[34]。

2. 干预策略链的推理与输出

提取出当前问题的问题链之后,需要由问题链匹配出对应的策略链,作为后续干预实施的具体方案。首先,遍历问题链,按照链路顺序依次将问题链中的每个问题在问题策略图谱中进行定位,获取该问题对应的策略集;其次,结合学习者的数字画像,从策略集中选取符合学习者兴趣偏好的适切干预策略;最后,将每个问题推理出的适切策略组合,形成干预策略链。除系统推理输出的干预策略链之外,还可以根据此问题下其他教师的策略选取结果进行推荐,教师可以参考推荐结果进行最终策略链的选择。

推理匹配层的技术路线如图 6 所示。

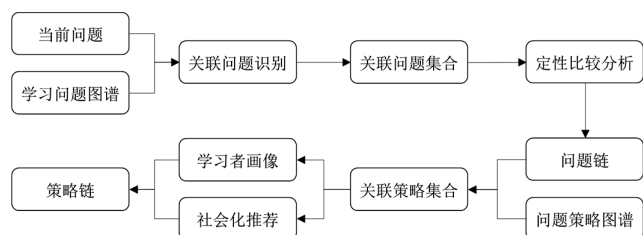


图 6 基于因果链推理的干预策略匹配

(四)进化适应层:基于多主体进化的干预策略实施

1. 干预策略的人机协同实施

在分析得到针对每位学习者的干预策略链之后,使用统计分析与聚类算法,将相似的策略链进行聚合,识别每一干预策略链对应的学习者范围,并根据范围规模决定每条干预策略链的实施对象为个体、小组或群体^[35]。

在干预实施过程中,按照策略链的顺序,逐项执行干预策略,并根据当前策略在干预策略库中标记的属性,确定适切的干预时机、干预频率与干预方式。干预强度则由学习问题链进行确定,若问题链中的节点属于核心问题,则实施对应的高强度干预策略;若属于边缘问题,则只需实施对应的低强度策略。系统推荐的干预方案作为教师实践的参考依据,教师可以将其与自身教学经验结合,综合进行人机协同的干预策略实施。

2. 学习者与干预策略的协同进化

随着干预的实施,需要即时判断干预的效果,并通过反馈机制促进干预策略的不断改善。本研究使用遗传算法进行干预策略的优化。首先定义干预策略的适配度函数,用于表征干预策略与当前学习问题的匹配程度。本研究令策略适配度等于干预前后学习问题严重等级的变化量,若适配度函数的值大于阈值,则说明干预策略能够较好地解决当前学习问题,并停止优化过程;否则,则需要选择适配度最高的两条干预策略链,以 p_c 的概率进行两条策略链间的交叉操作,并以 p_m 的概率从策略库中随机选择新的策略进行变异操作,进化生成子策略链,进而检验当前子策略链的适配度。重复上述操作,直至适配度函数大于阈值,或者迭代次数达到上限。之后,将优化后的干预策略同步更新至策略库和问题策略图谱,实现干预策略的持续进化。

除了干预策略的进化,伴随干预策略的实施以及学习过程数据的积累,学习问题类型与属性会涌现出新的特征,学习问题之间也不断建立新的连接关系,因而学习者状态也是一个持续进化的过程。学习者状态在状态空间中动态转移,又可以驱动新一轮的问题诊断与干预实施,维持干预系统的持续运转。

进化适应层的技术路线如图 7 所示。

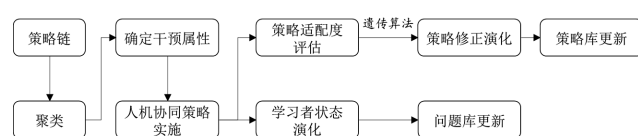


图 7 基于多主体进化的干预策略实施

五、结 语

教育的本质是一个复杂系统。因此,从复杂性科学的视角来看,学习过程是整体的、开放的、动态的。基于复杂性科学开展学习干预,有利于将学习干预作为整体的系统性工程进行实施,更加符合现实教育实践中学习问题的生发逻辑与解决思路。本研究立足于复杂性科学的视角,描绘了学习问题诊断、干预策略匹配、干预策略实施、干预结果分析等学习干预要素的复杂性特征,并构建了涵盖问题诊断层、动力引擎

层、推理匹配层、进化适应层的学习干预模型,旨在深度解构学习干预的实践流程,探索一种人机协同的精准学习服务模式。

在未来的研究中,一方面需要结合复杂性科学的研究方法,如复杂网络、模拟仿真等,以数据驱动的方式对学习干预的过程与规律进行验证;另一方面需要进一步明确各类学习问题与干预策略的内涵与表征方式,并与教学实践中可采集、可使用的多模态数据进行关联,推动基于复杂性科学的学习干预模型应用于实践。

[参考文献]

- [1] 杨宗凯,吴砥,陈敏.新兴技术助力教育生态重构[J].中国电化教育,2019(2):1-5.
- [2] 王一岩,郑永和.面向智慧课堂的教育情境感知:价值定位、特征模型与实践框架[J].电化教育研究,2021,42(11):84-91.
- [3] 刘铭,武法提.场景化学习服务模式构建研究[J].电化教育研究,2021,42(1):87-92.
- [4] 李彤彤,黄洛颖,邹蕊,等.基于教育大数据的学习干预模型构建[J].中国电化教育,2016(6):16-20.
- [5] 武法提,殷宝媛,黄石华.学习习惯动力学研究范式及其创新价值[J].现代远程教育研究,2019(1):46-52.
- [6] FUCHS D, FUCHS L S. Introduction to response to intervention: what, why, and how valid is it?[J]. Reading research quarterly, 2006, 41(1): 93-99.
- [7] ZHANG J H, ZOU L, MIAO J, et al. An individualized intervention approach to improving university students' learning performance and interactive behaviors in a blended learning environment[J]. Interactive learning environments, 2020, 28(2): 231-245.
- [8] HERODOTOU C, HLOSTA M, BOROOVA A, et al. Empowering online teachers through predictive learning analytics [J]. British journal of educational technology, 2019, 50(6): 3064-3079.
- [9] WONG B T, LI K C. A review of learning analytics intervention in higher education (2011—2018)[J]. Journal of computers in education, 2020, 7(1): 7-28.
- [10] XING W, DU D. Dropout prediction in MOOCs: using deep learning for personalized intervention [J]. Journal of educational computing research, 2019, 57(3): 547-570.
- [11] 何克抗.运用“新三论”的系统方法促进教学设计理论与应用的深入发展[J].中国电化教育,2010(1):7-18.
- [12] 武杰,孙雅琪.复杂性科学的学科特征及其哲学境界[J].自然辩证法研究,2017,33(7):112-117.
- [13] 曹征,张雪平,曹谢东,等.复杂系统研究方法的讨论[J].智能系统学报,2009,4(1):76-80.
- [14] 叶澜.世纪初中国教育理论发展的断想[J].华东师范大学学报(教育科学版),2001(1):1-6.
- [15] 何克抗.对美国《教育传播与技术研究手册》(第三版)的学习与思考之二——关于“复杂性理论”与“技术支持的复杂学习”[J].电化教育研究,2013,34(8):24-27.
- [16] 皮亚杰.发生认识论原理[M].王宪钊,译.北京:商务印书馆,1981.
- [17] 刘劲杨,汤杉杉.当代整体论的思想整合与形式分析[J].系统科学学报,2021,29(3):1-7.
- [18] 时龙.复杂性科学研究视野中的学校发展与变革[J].教育科学研究,2020(4):5-9.
- [19] 郑永和,王杨春晓,王一岩.智能时代的教育科学研究:内涵、逻辑框架与实践进路[J].中国远程教育,2021(6):1-10.
- [20] 张婧婧,杨业宏.在线学习中的幂律法则:基于开放与平衡流系统的新指标[J].远程教育杂志,2019,37(4):96-105.
- [21] 苗东升.从科学转型演化看大数据[J].首都师范大学学报(社会科学版),2014(5):48-55.
- [22] 殷宝媛,武法提.学习习惯在线干预的原理与模型设计[J].电化教育研究,2019,40(12):72-79.
- [23] 闫丽霞,周川.从传统范式到复杂性范式的转向:论一流学科生长路径的构建拓展[J].中国高教研究,2020(3):24-29.
- [24] 武法提,高姝睿,田浩.人机智能协同的精准学习干预:动因、模型与路向[J].电化教育研究,2022,43(4):70-76.
- [25] 白雪梅,顾小清,尹欢欢,武美玖,胡碧皓.数据驱动精准教学:实践路径、感知理解与现实困境[J].电化教育研究,2022,43(4):77-84.

- [26] 余胜泉,王琦.“AI+教师”的协作路径发展分析[J].电化教育研究,2019,40(4):14-22.
- [27] 吴靖.复杂科学视域下的教育趋法及对教育技术研究方法的启示——兼及教育信息化“顶棚效应”问题的分析[J].远程教育杂志,2017,35(2):94-103.
- [28] WHITE D G, LEVIN J A. Navigating the turbulent waters of school reform guided by complexity theory [J]. Complicity: an international journal of complexity and education, 2016, 13(1): 43-80.
- [29] 樊敏生,武法提.数据驱动的动态学习干预系统设计[J].电化教育研究,2020,41(11):87-93.
- [30] 黄欣荣.从复杂性科学到大数据技术[J].长沙理工大学学报(社会科学版),2014,29(2):5-9.
- [31] ENGESTROM Y, SANNINO A. Studies of expansive learning: foundations, findings and future challenges [J]. Educational research review, 2010, 5(1): 1-24.
- [32] DAVIS B, SUMARA D. Complexity science and educational action research: toward a pragmatics of transformation [J]. Educational action research, 2005, 13(3): 453-466.
- [33] 伯努瓦·里豪克斯,查尔斯·C·拉金. QCA 设计原理与应用:超越定性与定量研究的新方法[M]. 杜运周,李永发,等译. 北京:机械工业出版社,2017.
- [34] FISS P C. Building better causal theories: a fuzzy set approach to typologies in organization research [J]. Academy of management journal, 2011, 54(2): 393-420.
- [35] 唐丽,王运武,陈琳.智慧学习环境下基于学习分析的干预机制研究[J].电化教育研究,2016,37(2):62-67.

Learning Intervention from the Perspective of Complexity Science: Concept Explanation, Core Elements and Model Construction

TIAN Hao¹, WU Fati²

(1.School of Educational Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875; 2.Engineering Research Center of Digital Learning and Educational Public Service, Ministry of Education, Beijing 100875)

[Abstract] The rapid development of intelligent technology has not only transformed the style of education, but also brought the complexity of education to the fore. Precise and personalized learning interventions based on the perspective of complexity science are conducive to meeting the real needs of learners in learning practice. After explaining the basic concepts of complexity science and learning interventions, this paper analyzes the applicability of complexity science to guide the implementation of learning interventions. Then, this paper analyzes the complexity characteristics of learning interventions in terms of four core elements of learning problem diagnosis, intervention strategy matching, intervention strategy implementation, and intervention effect analysis. A learning intervention model is constructed from the perspective of complexity science, which consists of four logical levels: problem diagnosis, motivation engine, reasoning matching, and evolutionary adaptation. It successively depicts the discovery of learning problems based on learning analytics technology, the attribution of learning problems based on elemental self-organization, the matching of intervention strategy based on causal chain reasoning, and the implementation of intervention strategy based on multi-agent evolution. This model forms a complete intelligent learning service path, which provides a theoretical and practical basis for carrying out precise learning interventions of human-computer collaboration in the intelligent era.

[Keywords] Complexity Science; Learning Intervention; Smart Education; Model Construction