

智能辅助学生建模行为模式挖掘与解释*

李童** 姚圣涛

北京工业大学计算机学院, 北京 100124

摘要 面向软件工程教育中建模能力的培养, 智能分析学生建模行为, 对于理解学生的建模策略和个性化教学有重要意义。现有建模行为分析方法主要依赖结构匹配的模式挖掘, 缺乏对学生建模意图的深入理解, 分析结果停留在表层规律识别, 难以揭示学习者的思维路径。同时, 现有方法普遍缺乏行为语义解释框架和生成能力, 难以将挖掘结果转化为教师可理解的行为解释, 限制了其在教学诊断中的应用价值。本文提出一种基于多智能体协同推理的建模行为模式挖掘与解释框架。该框架构建“建模行为模式—语义解释”映射知识库, 通过多智能体协作实现模式挖掘、语义理解与解释的协同生成, 从而揭示学生建模过程中的策略与思维路径, 为教学诊断与个性化反馈提供支持。

关键字 学习行为分析, 智能教学支持, 建模能力培养, 语义推理, 多智能体系统

Intelligent-Assisted Mining and Interpretation of Students' Modeling Behavior Patterns*

Tong Li** Shengtao Yao

College of Computer Science, Beijing University of Technology
Beijing 100124, China

Abstract—To support the development of modeling competence in software engineering education, intelligent analysis of students' modeling behavior is crucial for understanding their modeling strategies and providing personalized instruction. Existing modeling behavior analysis methods primarily rely on pattern mining through structure matching, lacking a deep understanding of students' modeling intentions. The analysis results remain at a superficial level of pattern recognition, failing to reveal learners' thought processes. Furthermore, existing methods generally lack a framework for behavioral semantic interpretation and the ability to generate interpretations, making it difficult to translate the mined results into teacher-understandable behavioral explanations, thus limiting their application value in instructional diagnosis. This paper proposes a modeling behavior pattern mining and interpretation framework based on multi-agent collaborative reasoning. This framework constructs a "modeling behavior pattern—semantic interpretation" mapping knowledge base, achieving collaborative generation of pattern mining, semantic understanding, and interpretation through multi-agent collaboration. This reveals the strategies and thought processes in students' modeling process, providing support for instructional diagnosis and personalized feedback.

Keywords—learning behavior analysis, intelligent instructional support, modeling competency development, semantic reasoning, multi-agent systems

1 引言

在软件工程教育中, 建模能力被视为学生系统思维、抽象表达与架构设计能力的综合体现, 也是衡量学生工程化思维水平与复杂问题解决能力的重要指标。随着人工智能与教育技术的深度融合^[1-2], 越来越多的教学系统尝试借助智能分析技术对学生的行为进行过程感知、策略分析与能力评估。高等学校的“人工智能+”应用势在必行^[3], 特别是在数据流图(DFD)、UML等模型构建任务中, 如何基于人工智能系统和学

生行为提取有意义的行为模式并生成可解释的学生操作意图反馈, 成为实现个性化教学、精准能力评估及智能辅助教学系统的关键问题。深入挖掘这些行为模式并生成语义清晰的反馈, 不仅有助于揭示学生在建模过程中的思维特征与策略差异, 还能为教师提供针对性的教学支持与过程性评价支持, 从而促进学生能力的持续发展与提升。

近年来, 研究者在建模行为分析领域取得了积极进展, 尝试通过序列模式挖掘和行为过程建模方法揭示学生的建模策略与建模能力。例如, Rasch et al. (2021) 提出了基于操作日志的过程挖掘方法, 用以分析建模路径中的非线性行为, 以识别低效操作与反复行为; Xu et al. (2022) 则结合深度学习对建模过程中的时序模式进行建模, 提升了行为识别的准确性。

* **基金资助:** 北京-都柏林国际学院教育教学研究课题, 课题编号 BDIC2025A03; 内蒙古自治区中央引导地方科技发展计划, 课题编号 2024ZY0124; 北京工业大学教育教学研究课题, 课题编号 ER2024KCA01

** 通讯作者: 李童 litong@bjut.edu.cn

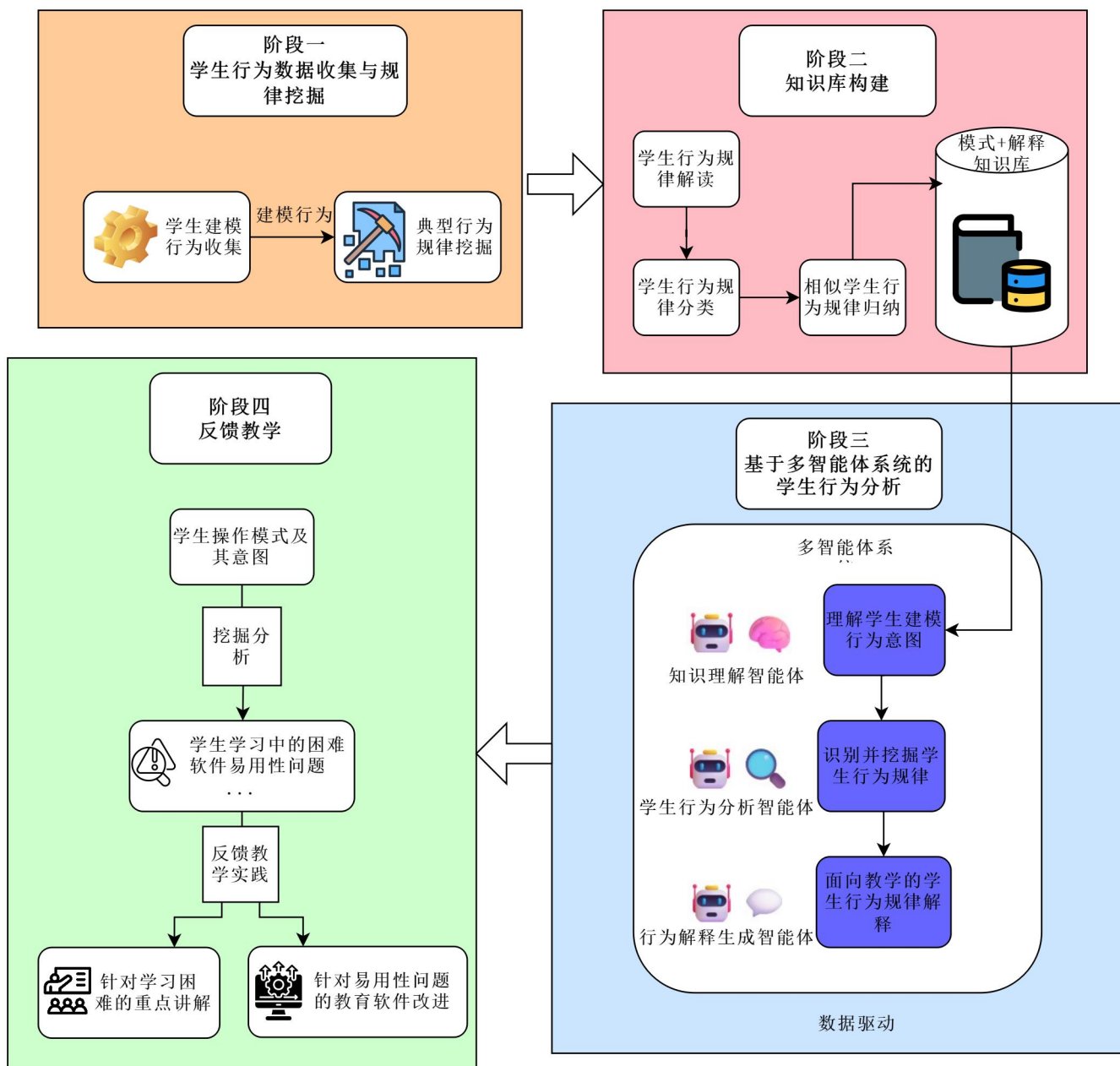


图 1 系统框架图

然而，这些方法在教育应用中仍存在明显不足。现有研究在建模行为分析中多关注操作序列的表层结构特征，侧重识别频繁出现的操作模式和典型路径。虽然这类方法有助于揭示学生的常见行为趋势，但忽视了操作背后的语义意图，能够揭示“做了什么”与“做了多少次”，但不能进一步解释“为什么这样做”以及“这种行为反映了怎样的认知策略”，难以揭示学生在建模过程中所体现的策略与问题解决思维等更深层次的学习特征。这使得挖掘出的结果难以为教师提供有针对性的教学反馈，也难以支撑学生在自我反思与策略调整中的有效学习。另一方面，当前方法普遍缺乏统一的语义知识框架与自然语言解释能力，导

致挖掘出的行为模式难以被有效解释并向学生与教师展示模式背后的学习逻辑与认知困境。这些不足限制了现有方法在教学反馈、能力评估和智能建模辅助系统中的实用性，也正是本研究试图解决的核心问题。

为解决上述问题，本研究提出了一种基于多智能体系统的建模行为模式挖掘与解释框架如图 1 所示。该框架以教学可解释性与过程可理解性为核心目标，通过多智能体协同实现从数据分析到教学反馈的智能化闭环。该方法首先构建包含典型建模行为模式及其语义解释的知识库，该知识库为后续的行为识别、解释学习意图与学习诊断提供统一的参考框架。随后设计一套角色分工明确的多智能体系统，知识理解智能

体负责理解各类学生行为模式所代表的学习意图，行为序列分析智能体用于识别学生在建模过程中的行为规律，行为解释生成智能体负责给挖掘到的学生行为规律生成面向教学反馈的自然语言解释。最后，将挖掘到的学生行为规律和对应的意图解释进一步分析，用于发现学生在学习过程中遇到的困难，从而为教师课堂指导和教学策略调整提供依据。通过这样的过程，教师能够更有针对性地支持学生的学习进展，学生的能力与学习成效也能够得到持续提升。多智能体的分工协作机制，使系统能够将原本复杂的学习行为分析过程拆解为更清晰子任务，通过这种协作方式，系统能够更加全面、稳定地识别学生的学习行为特征，并以更符合教学逻辑的方式呈现分析结果，使教师能够更准确地理解学生的思维策略与可能遇到的困难，为教学诊断与教学改进提供更可靠的依据，增强学习分析结果的教育可用性与教学解释力。该框架将挖掘学生行为数据与学习意图理解相结合，以支持对学习过程的分析与教学应用，为人工智能辅助系统在学习场景中的应用提供了方法支持^[4]。

总之，本文的主要贡献如下：第一，构建了一个结合建模行为模式与语义解释的知识库，为识别学生行为规律和生成可理解的教学反馈提供统一的语义支持。第二，设计并实现了一个模块化的多智能体协作系统，将建模行为分析任务划分为语义理解、模式挖掘与解释生成等子模块，由不同智能体分工协作完成。该系统结构清晰、职责明确，不仅提升了分析结果的准确性和可解释性，还具备良好的灵活性与可扩展性。整体框架通过对学生操作数据与学习意图的结合，实现了更深入的学习过程理解，在语义深度、模式多样性和解释可信度方面展现出明显优势，为教育场景中的学生过程学习分析、教学诊断与个性化指导提供了新的方法思路与实践参考。

2 相关工作

近年来，基于建模行为序列的模式挖掘逐渐成为教育测评与智能建模辅助研究的重要方向。基于 PrefixSpan 算法，Xu 等（2024）提出加权序列挖掘方法用于提取关键教育行为模式^[5]。Zhang 等（2024）在学习建模过程中采用过程挖掘技术识别建模者常见操作流程^[6]。此外，Romero 和 Ventura（2020）的综述提出，现有方法普遍强调频次和结构，但缺乏对行为语义与上下文意图的深入建模^[7]。虽然这些方法能够有效发现高频行为序列，但在识别语义合理却频次较低的建模策略方面仍然不足，难以捕捉学习者更深层的建模思维过程与策略差异。这一不足正是本研究试图解决的关键问题。

随着学习过程分析技术的发展，可解释性逐渐成为焦点。Wang 等（2024）借助集成梯度解释教育对话

模型，提高教师信任度^[8]；Gong 等（2022）构建知识增强的序列模型，对行为模式生成结构化解释^[10]。尽管这些研究推动了教育领域的可解释分析，但其大多依赖模板或局部梯度方法，缺乏统一的语义知识体系与自然语言生成能力，难以对建模行为中的复杂认知策略形成连贯解释，难以满足智能辅助系统对于“语义理解 + 策略反馈”的需求。

近年来，多智能体系统在教育与智能分析中的应用逐渐受到关注。Xu 等（2021）设计了基于智能体的学生行为建模系统，用于模拟学习策略与行为变化^[9]；Li 等（2020）提出生成式注意力网络框架，利用多智能体机制建模群体行为交互^[11]；Zhang 等（2024）设计了 SimClass 系统，基于大语言模型构建多智能体课堂模拟器，用于研究师生互动策略。这些研究表明，多智能体架构具备良好的模块化、可扩展性与任务协同能力，适合处理复杂教育场景中的智能任务。本研究进一步将多智能体系统引入建模行为模式分析与语义解释任务中，结合大语言模型的推理能力通过数据驱动保持良好的灵活性、稳健性，为智能辅助建模与教育反馈提供了有效支撑。

3 多智能体辅助的学习行为分析框架

为了更好地支持软件工程教育中的学习过程分析与教学反馈，本研究的方法体系遵循从数据感知到语义解释、再到系统化协同推理的整体流程，构建了一个面向教学场景的建模行为理解框架。本章将从四个阶段展开说明。首先，阶段一聚焦于学生真实建模过程的数据收集与行为模式挖掘，捕捉其在任务执行中的策略特征。其次，阶段二对挖掘出的典型模式进行语义解释归纳，构建具有教学导向的行为模式知识库，使系统具备面向教学目标的语义支撑。然后，阶段三引入多智能体协同推理机制，通过任务分工实现对学生行为的语义识别与解释生成，从而使系统能够以接近教师分析思路的方式理解学生的建模行为。最后，阶段四通过模式入库机制，使系统能够随教学数据持续迭代，从不断涌现的学生行为中学习和扩充模式库。通过以上四个阶段，本研究建立了一个能够支持教学诊断、策略分析与过程反馈的整体方法框架，为后续的课堂应用与智能教学系统提供技术基础。

3.1 阶段一：学生行为数据收集与规律挖掘

为支持面向解释的建模行为分析，本研究围绕数据流图建模任务开展行为数据收集，并从中挖掘候选行为模式，作为后续构建知识库的基础。在该阶段，我们邀请多名受试建模者完成预设的数据流图建模任务，基于自主开发的建模平台自动记录建模者在建模过程中的操作行为序列，包括操作类型、操作对象、及执行顺序等，从而构建建模行为序列数据集。

在获得原始数据后,如何提取质量可靠、结构清晰且语义合理的行为模式,成为知识构建的第一关键。传统的序列模式挖掘方法(如 PrefixSpan)被广泛用于行为过程分析,具有良好的频次控制与覆盖能力,能够高效挖掘出在多个建模者序列中反复出现的模式。在本研究中,我们以此类方法为起点,从原始序列中挖掘出一批高频行为模式,用于刻画建模过程中的典型操作组合。

然而,传统方法主要依赖表层符号的序列匹配,缺乏对操作含义、上下文关系以及建模意图的理解能力,容易遗漏那些虽然不常见但具有较高认知合理性的潜在行为模式。为此,我们进一步引入近年来在语义建模与结构学习方面表现优异的先进方法,包括基于操作嵌入或深度学习的序列建模方法。这些方法能够从更深层的行为结构与语义共现关系中,挖掘出覆盖广度较低但具有重要认知意义的隐含模式。

通过联合使用传统方法与语义增强方法,我们构建了一个既具代表性又具多样性、既关注频次又兼顾语义的行为模式集合。一方面,传统方法保障了基本建模行为组合的广覆盖与稳健性,另一方面,先进方法提升了对复杂建模过程和策略性行为的识别能力。这种融合策略不仅扩展了候选模式的结构边界,也为后续语义解释归纳、多智能体类比迁移及自然语言生成提供了更加扎实的数据基础。

3.2 阶段二:语义解释归纳与知识库构建

为实现后续模式解释生成与知识迁移所需的语义支持,本研究在第二阶段构建了一个结构化的“建模行为模式+语义解释”知识库。该阶段不仅关注解释内容的收集,更通过自然语言归纳、语义聚类与评价优化等机制,提升解释的一致性、抽象性与可学习性,为大语言模型与专家系统提供统一的知识接口。

学生行为规律解读:构建多元语义语料。为准确捕捉行为模式背后的语义意图,我们邀请领域专家对第一阶段所挖掘出的每条行为模式进行解释,要求其以自然语言形式描述该模式的策略、目的或认知意图。通过收集领域专家的解释,我们获取了每条模式在不同认知视角下的含义解释,从而为后续语义建模提供了多元基础。这一设计的核心动机在于:语义解释本质上具有主观性与多样性,单一解释往往难以涵盖全部潜在意图。通过收集多源解释,我们不仅拓宽了行为语义空间,也为后续的语义聚类与归纳创造了条件。

学生行为规律分类:提炼共性语义结构。由于领域专家对同一模式可能采用不同措辞、角度甚至粒度进行表述,直接归入知识库中会导致语义冗余和一致性缺失。为解决这一问题,我们采用向量化语义嵌入表示,采用 Sentence-BERT 对所有解释文本进行编

码,并在嵌入空间中进行相似度计算与聚类分析。每一组相似解释构成一个“解释组”,代表了该模式下的一类语义共识,确保语义聚类的客观性与自动化,同时为归纳生成提供结构基础,有助于大语言模型后续从语义层进行统一表述。

相似学生行为规律归纳:融合语言模型的抽象能力。针对每个解释组,我们进一步利用大语言模型的语意理解和归纳能力进行语义整合,生成具有更强通用性与代表性的核心解释。归纳过程中,大语言模型基于语义相似性从同一解释组多个解释文本中提炼出共通意图与行为动机,输出统一自然语言描述,构成该模式的“核心解释”。通过将语言模型的归纳能力引入模式语义建构过程,系统不仅提升了解释的表达质量,还有效避免了原始解释表述中的重复、模糊与不一致问题。

知识库组织与结构化建模。经过上述归纳与评估过程,最终得到的模式及其解释将以结构化形式组织进入知识库,包含:模式结构、语义核心解释等。

3.3 阶段三:基于多智能体系统的学生行为分析

前两阶段构建了高质量的“行为模式—语义解释”知识库,但建模行为在实际过程中的复杂性、多样性决定了静态知识库难以覆盖全部策略性行为特征。因此,第三阶段设计了一套多智能体驱动行为模式挖掘与解释机制,旨在提升模式发现的语义覆盖能力、结构适应性及生成解释的表达力。

多智能体路径:构建类比推理驱动的自下而上认知机制。该路径基于前阶段构建的知识库,部署了一个由大语言模型驱动的角色分工型多智能体系统,充分利用大语言模型的知识理解和推理能力,模拟“认知类比—行为识别—语言解释”的人类问题解决流程。

(1) 智能体 1: 知识理解智能体

该智能体的任务是深入学习知识库中的已有模式与解释,并结合实际建模序列进行类比迁移,推理不在知识库中的潜在新模式。具体而言,它利用大语言模型对知识库中原有“模式+解释”进行结构语义理解分析,并始终参考实际建模行为序列,从而推理出具有结构与语义创新性的候选新模式。该设计不仅缓解了大语言模型常见的空想式组合问题,也更符合人类在具象问题中举一反三的认知方式。此模块借鉴“案例启发式推理”理论,通过将知识理解与实际上下文绑定,有效降低大模型的幻觉风险,提升新模式生成的合理性与可验证性。

(2) 智能体 2: 学生行为序列分析智能体

该智能体支持两类模式的识别:一类是知识库中

已有的经典模式，另一类是对智能体 1 类比生成的新模式进行验证。它通过将候选模式与实际建模行为进行比对，在实际建模序列中检测其真实存在性、完整性与出现频次。通过结构匹配算法与上下文约束机制过滤不合理模式，保证新模式的行为依据充分。

(3) 智能体 3: 行为解释生成智能体

最终匹配成功的行为模式由本模块生成对应的自然语言解释。该智能体会深度学习参考知识库中语义相近的解释片段，融合上下文与行为目标进行个性化语言生成，确保解释既具延续性又具创新性。

多智能体路径通过结构识别、语义类比与语言表达三步协同，实现了从数据出发、结合知识、生成解释的自下而上模式理解路径，具有较强的语义泛化能力与模式创新潜力。

3.4 阶段四：新模式入库机制

在前一阶段，系统通过多智能体系统挖掘出候选建模行为模式及其语义解释。这些新生成的“模式+解释”组合中，既包含与现有知识高度一致的稳定模式，也可能出现由大语言模型推理生成、具有创新性但缺乏直接验证支撑的新模式。为实现对这些模式的系统整合与可控更新，本文设计了一个基于专家定期评估的知识更新机制，确保模式入库的质量、准确性与语义合理性。

差异性处理与验证机制：对于由多智能体路径挖

掘到的不曾在知识库中出现的候选“模式+解释”组合，系统将其暂存于“待验证模式库”，并通过人工审核机制进行进一步验证，邀请领域专家对这些候选模式进行上下文分析与语义审查，重点评估其结构合理性以及解释的准确性与一致性。在审查过程中，专家可参考知识库中已存在的相似模式与解释模板，必要时提出修订意见或替代表达。审查通过的模式将被正式纳入知识库。此过程不仅保障了模式入库的准确性，也为语言模型未来的学习提供可靠的语义支撑。

知识更新的系统价值：该阶段将原始数据挖掘与专家经验判断统一纳入知识演化流程，打破了传统知识库静态存储的局限，构建出一个可持续增长、可控优化的建模行为知识体系。这种更新机制，不仅提升了知识库对复杂建模行为的覆盖度和解释能力，也为系统在实际教育场景中长期部署与持续更新奠定了结构基础。

4 教学应用

4.1 教学案例分析

在教学应用场景中，本研究提出的多智能体模式挖掘与语义解释框架主要负责从学生的建模操作日志中识别具有代表性的行为模式，并生成相应的策略意图和语义解释，为后续的教学分析提供基础依据。在获得系统输出后，研究者与教师可进一步基于这些模式解释开展教育层面的延伸分析，用于识别学生可能面临的学习困难，并形成具有针对性的教学建议。

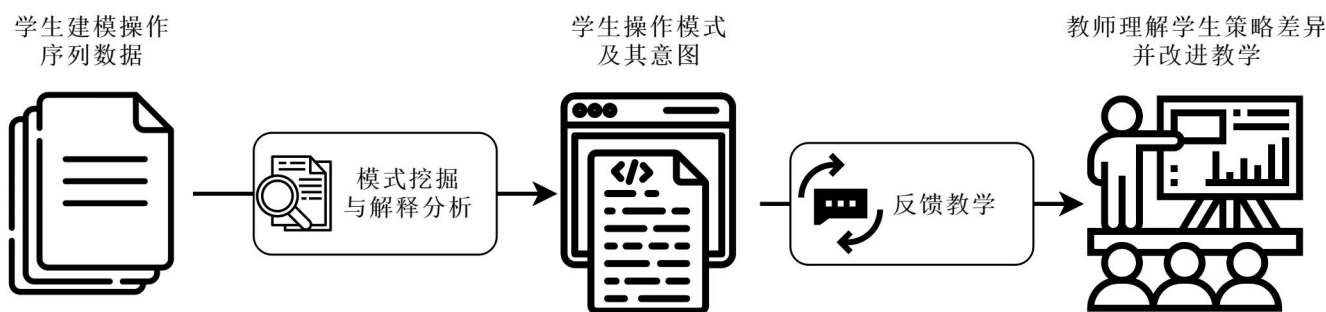


图 2 反馈教学

具体而言，如图 2 所示，系统首先从学生的操作序列中挖掘行为模式，并将其与知识库中的典型语义结构进行映射，生成可解释的策略路径描述。其次，研究者依据这些语义解释，对学生的建模思维、策略倾向以及可能存在的概念模糊或规划不足进行分析与研判，从而识别学习过程中的潜在困难。最后，结合学生表现与教学目标，教师可据此制定更具针对性的教学支持策略，例如补充示范步骤、强化概念讲解、引导学生采用更有效的建模步骤规划等。因此，该流程实现了从建模行为数据到教学诊断支持的有机衔接，而多智能体框架所承担的，是为这一教学分析过

程提供高质量、可解释的行为模式基础。以下以模式 A 为例，对整个流程的分析效果进行展示。

以本研究框架识别出的典型行为模式中两个典型模式为例，序列模式 A: [删除 → 添加 → 编辑 → 移动] 反映了学生在建模过程中较为常见的一类局部替换与调整操作链条。具体而言，学生首先删除了已有的模型元素，随后立即添加新的元素以替代原有结构，并在随后的步骤中对新添加元素的属性进行补充或修改，最后通过移动该元素来调整其在模型中的位置，使之更符合整体结构布局。从操作逻辑上看，这一序

列呈现出一个较为明确的“替换并优化”的行为策略：学生倾向于通过直接删除旧元素并即时加入替代元素来完成局部结构的修正与完善，体现出在建模过程中对局部模型质量的关注以及持续改进的意图。

然而，进一步的语义分析显示，该模式在部分学生的操作日志中呈频繁出现，这可能暗示其背后潜藏的学习困难。频繁的“删除—添加—调整”操作链可能意味着学生在进入正式建模前缺乏充分的任务规划，整体概念构思尚不成熟，因而需要在建模过程中不断试探与反复调整；也可能说明学生对相关建模概念或元素功能尚未完全理解，在选择模型元素与布置结构时存在一定的犹豫和偏差。因此，该模式不仅揭示了学生的策略路径，也为识别其潜在认知困难提供了证据。

基于此模式所反映的策略与问题特征，教学上可采取相应的针对性支持。例如，教师可以在教学中强化数据流逻辑及元素功能的系统讲解，提供更清晰的建模规则示范，帮助学生建立稳定的概念框架。同时，可鼓励学生在正式建模前进行草图构思或步骤规划，通过“先规划—再执行”的方式减少无效反复与试错成本，提高建模效率与质量。此类模式示例不仅展示了本研究框架的语义分析能力，也进一步说明其在教学反馈与学习诊断中的潜在应用价值。

如图3所示，示例模式B所对应的操作序列[添加 → 移动 → 调整大小 → 编辑]展示了学生在引入新建模元素时的一类典型“逐步初始化”行为过程。具体来看，学生在添加新元素后，首先通过移动操作对其进行大致定位，以确保其在整体模型结构中的初步合理布局；随后对元素的大小进行调整，使其符合图示规范或视觉标准；最后编辑该元素的属性以补充其语义信息，从而完成从外观初始化到语义定义的构建过程。整体序列呈现出一种从布局到规范、再到语义完善的线性 workflow，体现出学生倾向于在操作层面对新元素进行全面处理的习惯。

在教育应用层面的进一步分析中，研究者注意到该模式既反映了积极的操作习惯，也暴露出潜在的学习风险。

一方面，学生逐步规范化元素的行为有利于形成良好的建模风格；但另一方面，过多关注视觉层面的微调可能导致学生在建模初期将大量时间投入到界面调整，而忽略模型结构与数据流逻辑的整体设计。特别是在初学阶段，学生往往会在不影响语义的细节上反复调整，降低任务效率并可能分散其对建模本质的关注。基于此，教师在教学中可适度引导学生在开始正式建模前进行逻辑规划与结构设计，同时教授更高效的元素编辑与布局技巧，避免学生过早沉迷于界面细节，从而使建模过程更聚焦于概念表达与系统结构

构思。

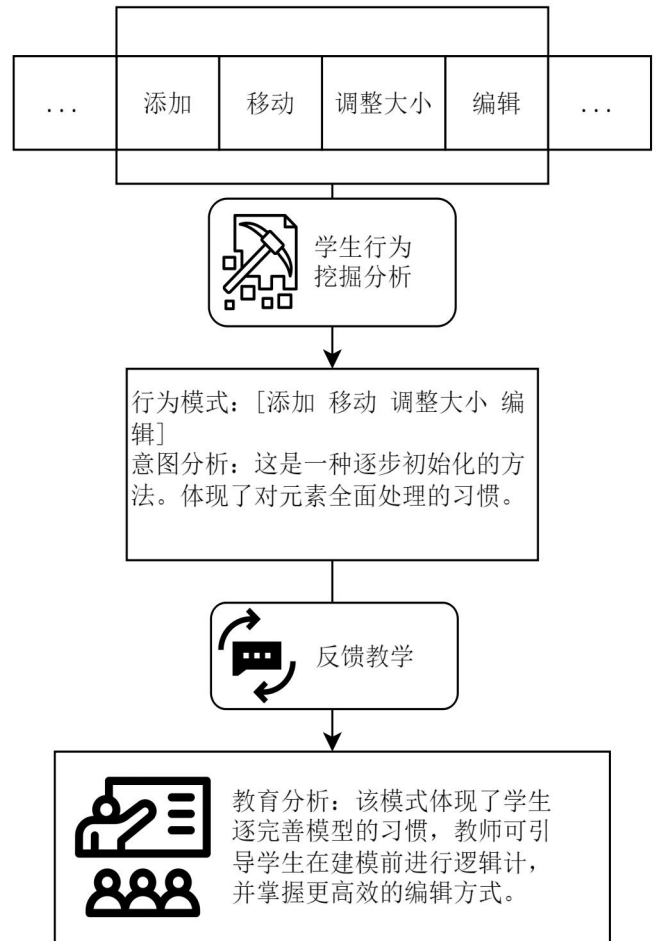


图3 具体教学案例

4.2 教学实践效果展示

为了验证验证提出的多智能体辅助的学习行为分析框架的效果，我们开发了一个能够实时捕获建模过程的系统，并通过在软件工程课程中应用多智能体辅助的学习行为分析框架，在一个教学班进行了1个学期的教学实践。经过一个学期的运行，该系统已从72名本科生那里积累了详细的流程数据并进行了详细地学生建模行为分析。

首先，我们统计了不同方法在学生建模行为模式长度下发现的不同长度模式数量，建模行为模式的长度是指学生频繁出现的建模操作序列的长度，即操作模式包含的连续操作的数量。结果如图4所示。我们的框架在学生建模行为模式挖掘方面展现出了更强的能力。在指定的模式长度范围内，我们所采用的方法所挖掘出的模式数量始终显著高于两种基准方法。这表明我们的方法能够进行更全面和深入的探索，从而避免传统方法因修剪策略或设计限制而可能出现的遗漏。随着模式长度的增加，所有方法所发现的模式数量自然会减少。然而，我们的方法在长模式方面明显

具有绝对优势，并且其趋势变化更为平缓。这表明它更能够捕捉到学生建模行为中存在的复杂多步骤操作习惯。这类长模式往往包含更有价值和标准化的建模策略。我们的多智能体学生建模行为分析框架在分析

出的模式数量方面具有的显著优势。这些多发现的的模式即学生的建模操作习惯并非统计噪声，而是有意义的建模行为序列，传统方法之所以未能捕捉到这些序列，是因为它们无法考虑到语义关联。

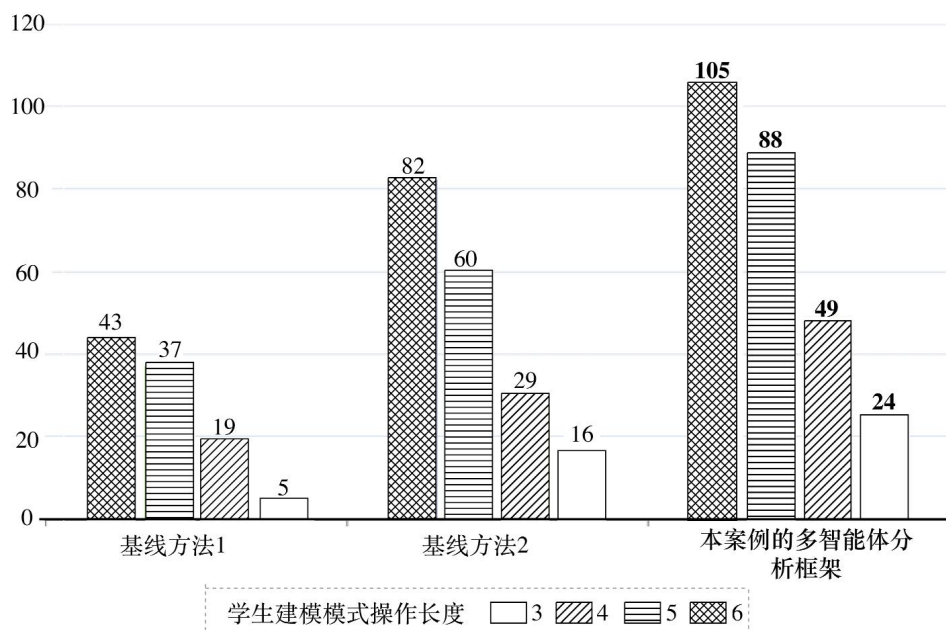


图 4 本文学生行为分析框架与基线方法的对比

我们基于多智能体学生建模行为分析框架，对课堂中学生的软件建模行为进行了进一步系统化分析与展示，相关统计结果如表 1 所示。该分析以一个软件工程课程教学班的 72 名学生为研究对象，覆盖其完整的建模操作过程数据。

从行为模式层面来看，框架共挖掘出 266 种具有代表性的学生建模行为模式。这些模式反映了学生在模型构建、修改与调整过程中的典型操作习惯，为刻画课堂中普遍存在的建模学习策略提供了数据基础。进一步地，针对行为模式，多智能体系统生成了对应的行为意图与思维策略解释，其合理性经评估达到 90.13%，表明该框架能够在较高可信度下对学生行为背后的认知意图进行解释。在行为问题分析方面，系统共识别出 103 个常见的学生建模行为问题。这些问题主要体现为不合理的操作顺序、频繁的试错与回退、关键建模步骤的遗漏以及低效的重复操作等，能够揭示学生在建模理解、建模策略选择或概念掌握方面的潜在困难。该类结果可为教师开展形成性评价、针对性指导以及建模教学策略调整提供依据。此外，分析过程中还归纳出 6 类与课堂中使用的建模软件相关的易用性问题。这些问题并非源于学生建模能力不足，而更多反映了工具在交互设计、功能可发现性或操作反馈方面对学习过程造成的潜在干扰。

表 1 教学方法应用效果数据统计

分析指标	统计值
挖掘到的学生行为模式数量	266
学生建模模式意图解释合理率	90.13%
软件易用性问题种类	6
学生学习行为问题数量	103

相关发现可为建模教学工具的优化设计提供参考，同时也有助于区分“由学习者能力导致的问题”和“由工具设计引入的问题”，从而避免在教学评价中对学生能力产生误判。

总体来看，基于该智能辅助学生行为分析框架对课堂的帮助，为教学实践提供了有效支持。实践结果表明，在引入基于 AI 多智能体的学生行为分析框架辅助后，教师能够更及时、准确地发现学生在学习过程中的共性困难与个体差异，从而开展有针对性的指导与干预。同时，对学生常见行为问题及其成因的显性化分析，有助于学生反思自身建模策略，减少低效试错行为，逐步形成更加合理的建模流程与思维方式。

此外,对软件易用性问题的识别为教学环境与工具配置的优化提供了依据,有助于降低非学习性的负担。整体而言,该分析结果能够有效支持形成性评价与教学决策,促进学生建模能力的持续提升,并增强课堂建模教学的整体效果。

5 结束语

本文针对智能辅助软件工程建模学习中的行为模式挖掘与解释问题,提出了一种基于多智能体系统的模式挖掘与解释框架。该框架通过构建包含丰富语义解释的知识库,并设计角色分工明确的多智能体系统,充分发挥生成式大语言模型的语义理解与推理能力,实现了对隐含且语义复杂的建模行为模式的有效识别与自然语言解释,提升了系统整体的稳健性和解释可信度。该方法不仅拓展了学习行为分析的深度与广度,也为教师理解学生的建模思维过程、识别学习困难、提供个性化指导提供了新思路。未来工作将进一步优化多智能体间的协同机制,探索更多教学情境下的建模行为模式挖掘与应用,以持续促进智能学习分析与精准教学的发展。

参考文献

- [1] 刘琼,刘星,刘桂锋. “人工智能+高等教育”应用场景下的AI素养框架研究[J]. 农业图书情报学报, 2024, 36(8): 43-55.
- [2] 黎明,徐政,葛力铭,等. “人工智能+”赋能高等教育: 理论逻辑、现实困境与实践路径[J]. 科学管理研究, 2024, 42(5): 57-65.
- [3] 黄春晨,鲁长风,田友谊. 人工智能赋能高等教育的政策嬗变与展望: 基于“主题—工具—评价”的三维分析框架[J]. 高教探索, 2025(1): 48-59.
- [4] 师璇,王绽蕊. ChatGPT技术影响下的教与学变革研究综述[J]. 教育进展, 2023, 13(5): 2617-2623
- [5] Xu Y, Liu Y, Yu H. Data Analysis of University Educational Administration Information Based on Prefixspan Algorithm. Communications in Computer and Information Science, 2024, 2147.
- [6] Zhang Q, Sun L, Zhao J. Simulating Classroom Education with LLM-Empowered Agents.
- [7] Romero C, Ventura S. Educational data mining and learning analytics: An updated survey. WIREs Data Mining and Knowledge Discovery, 2020, 10(3).
- [8] Wang D, Bian C, Chen G. Using explainable AI to unravel classroom dialogue analysis: Effects of explanations on teachers' trust, technology acceptance and cognitive load. British Journal of Educational Technology, 2024, 55: 2530 - 2556.
- [9] Xu P, Karamouzas I. Human-Inspired Multi-Agent Navigation using Knowledge Distillation. Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2021: 8105-8112.
- [10] Gong J, Wang H, Liu Q, Huang J, Hao J. Agent Behavior Combination Modeling by Multi-method Integration. Proceedings of the International Conference on Frontiers of Educational Technologies, 2019: 137-142.
- [11] Li G, Jiang B, Zhu H, Che Z, Liu Y. Generative Attention Networks for Multi-Agent Behavioral Modeling. Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence, 2020, 34(5): 7195-7202..
- [12] Xu H, Zhao Y, Wang X. Learning modeling behavior patterns via deep sequential modeling. Proceedings of the International Computing Education Research Conference, 2022: 123-134.
- [13] Cresci S, Di Pietro R, Petrocchi M, Spognardi A, Tesconi M. DNA-Inspired Online Behavioral Modeling and Its Application to Spambot Detection. IEEE Intelligent Systems, 2016, 31(5): 58-64.
- [14] Cresci S, di Pietro R, Petrocchi M, Spognardi A, Tesconi M. Exploiting Digital DNA for the Analysis of Similarities in Twitter Behaviours. Proceedings of the IEEE International Conference on Data Science and Advanced Analytics, 2017: 686-695.
- [15] 叶晨,王晓国,王利.面向竞教融合的个性化智能导学平台[J].计算机技术与教育学报,2022,10(5):27-32