



**Macao Polytechnic University**

**澳門理工大學**

申請人姓名:丁亦剛

擬研究課題名稱:基于图卷积网络的认知结构理论研究及其在教育中的应用

## 一、绪论

### (一) 研究背景

《教育信息化“十三五”规划》中指出,要促进教育信息化全面深入教育应用,使教学更加具有个性化的特点,重视教师运用信息技术进行精确的学情分析及开展个性化教学的能力。中华人民共和国教育部在 2018 年发布的《教育信息化 2.0 行动计划》中也明确提出:要充分运用信息技术助力个性化学习和终身学习。其核心的宗旨是以新兴的信息技术为支撑,强调通过现有的大数据采集与分析,结合人工智能技术切实有效地融入进实际教学环境中,帮助教师精准掌握每一个学生的学习状况,提供相对应的教学资源 and 策略,让学习更有效,实现因材施教、量体裁衣的个性化教育。一方面,人们对教育教学效果、质量和效率的要求不断提高,教育科学研究需要开展面向未来的、多角度的研究,以此来适应科技发展和时代变革的新要求。另一方面,随着数据分析、机器学习、深度学习等技术的发展,教育科学领域的计算模型也发生了巨大的变化,数据驱动和人工智能成为了教育机构、教育科学研究等领域中的重要趋势[1]。

#### 1.人工智能时代为个性化教育的发展提供机遇

人工智能技术的应时而生让个性化教育这一美好愿景变为了可能。近年来,以深度学习为核心的人工智能技术取得了一系列突破性的进展,并惠及到了教育领域,得到了极大的应用。人工智能时代下的教育,强调了人工智能与教育的深度融合,强调利用人工智能赋能教育变革,以教育为本位,将教育本身作为融合技术的出发点与落脚点,使教育的各方面发生积极改变,形成精准化、灵活化、个性化的教育服务体系,使学生的发展需要得到最大限度的满足[2]。要实现这一愿景,就必须要了解学生的个体特征,关注学习者的认知结构、知识基础的差异并完成个性化画像构建[3]。

#### 2.了解学习者的认知结构是个性化教育的一大“抓手”

学习及其过程一直是教育研究和教学实践的核心课题之一[4]。如何更好地认知学习者的学习情况和难点,对于实现个性化教育以及提高教学效果具有重要意义。传统的教育评价方法主要基于考试成绩,难以准确地反映学生的学习特点和长处。为了解决这一问题,越来越多的教育研究者开始研究基于认知结构分析和评价的教育评价方法。在教育科学领域,学生的学习状况和其认知结构密切相关[5]。

#### 3.人工智能技术成为认知结构分析的助推器

随着计算机科学和人工智能的不断发展,机器学习和数据挖掘等技术在教育领域的应用也越来越广泛。在图嵌入领域,诸如 Node2vec、Deepwalker[6]等算法的出现,使得学术界和工业界的研究人员更加容易地对图数据进行分析,获取数据的内在信息,并能够对数据的变化和演化进行深度探究。同时,认知心理学、教育学、计算机科学等领域的研究人员发现,语义空间中的知识具有相似性和距离等概念[7],另外,在大数据的时代背景下基于知识图谱的挖掘,不仅能够展示数据的内在关系,也能够发掘数据的深层次模式,提升数据价值[8]。近年来,基于图卷积神经网络的认知分析和教育评价方法受到了广泛关注。通过对学习者的认知结构进行有效的表示和计算,能够实现个性化教育、针对性的诊断和补救教育等目标[9]。基于图卷积神经网络的认知结构表示和计算方法可以更加准确地对学习者的认知结构进行

分析,能够更好地分析学习者的学习特点和长处,了解学习者的认知规律,以便根据学习者的个体特点设计出切实有效的教学方案,规避可能的教学风险点,提高教育教学质量。

本研究旨在深入探究图卷积神经网络、知识图谱挖掘和认知结构测量等领域,将先进技术应用于学生学情分析,为教育领域提供更多、更好的应用场景和工具,同时满足社会现实需求。本研究将围绕基于图卷积和图嵌入技术的认知结构表示方法展开研究工作,将该方法与个性化的补救教学、分组协作教学和项目式学习等教学模式进行深度融合,提出可有效解决大规模学生数据在教育领域中存在的认知结构分析、表示和计算问题的解决方案。通过对教学数据的挖掘和分析,结合现有的教育理论和先进的计算方法,探究如何优化现有教育模式,提高教学效果,推动教育现代化。

## (二) 研究意义

基于图卷积神经网络的认知结构表示和计算方法在认知诊断和学习者学情分析方面有着广泛的应用前景,而本研究将着力探索如何将优化后的认知结构分析技术运用于多种教学模式中。具体的研究意义包括以下几个方面

### ● 提高教育评价的效度和效用

现有的教育评价方式常常因其过于模糊、反馈不足、描绘不全面的问题而被诟病,这是因为传统的教学评价方式是基于学生的考试成绩和课堂表现等常识性的量化指标,往往忽略了学生的认知结构和学习过程中的难点和问题。基于图卷积神经网络的认知诊断方法能够精确地评估学生对知识点的掌握情况和认知结构,从而更加全面和准确地评价学生多层次的、持续性的学习情况,帮助教师和学生更好地了解学习进展情况和设定目标,提高教育评价的效度和效用。

### ● 为个性化教育提供新思路和方法

传统的教学方法通常是按照课程进度和教学大纲设计学习内容和安排教学活动,但学生的学习情况是多变和个体化的。基于认知诊断的方法可以帮助教师更好地把握学生的学习状态和认知结构,调整教学策略,提供更合适的教学方法和资源。

### ● 为学习科学提供了新的突破点和理论支持

学习科学是关注人类学习过程的交叉学科,该领域正面临着许多问题待解决。这种利用认知诊断的教学方法提供了一种全新的研究视角和工具,可以帮助学习科学领域研究人员更好地了解学习者的认知结构和学习过程,探索更好的教育实践方式和方法。基于学生认知结构的教學评价、预测和干预对学习科学领域的影响,不仅提供了新的突破点和理论支持,更可以为学习科学领域的其他研究提供深入分析和研究。

### ● 赋能多种教学模式的实践

针对学习者认知结构的诊断技术可以与对分课堂[10]、协作学习和项目式学习相结合。通过在教学中针对认知结构差异化的学生构建个性化的资源推荐系统[11],助力教师体现学生的主体性和发展性,引导教师和学生建立同等的地位,以期实现更好的教学效果。

## (三) 研究问题

问题 1: 如何深入分析基于图卷积神经网络的认知诊断方法的优势和缺点,以及如何优化算法,提高易用性? 具体可以分解为以下三个子问题:

- 该方法的优缺点是什么? 可以优化学生学习方式的哪些方面,有哪些不足之处需要改进?
- 如何改进算法以提高其准确性和有效性?
- 如何将算法封装成易于使用的工具或平台并完成与其他教育技术的集成,以达到更广泛的应用范围?

问题 2: 如何基于图卷积网络对认知结构分析、表示和计算,进行精准的学情分析,实现多层次教学目标的精准达成? 具体可以分解为以下三个子问题:

- 如何收集学生的学习情况并转化为图卷积网络可输入的特征表示？
- 如何基于认知结构的分析、表示和计算结果，评估学习者除知识目标以外的各项的认知维度目标？
- 如何在基于认知结构的分析、表示和计算，实现课程内容和任务的个性化，从而促使学生的主动学习和深度学习，实现学生的自主发展，提升教育教学效果？
- 如何将基于认知结构分析、表示和计算的技术集成到在线学习环境和教育系统中，提供及时反馈和定制化教学服务，以实现多层次教学目标的精准达成？

问题 3：如何将基于认知结构分析、表示和计算的技术应用于多种教学模式中？

具体可以分解为以下三个子问题：

- 如何将基于认知结构分析、表示和计算的技术运用于个性化补救教学的实践中？
- 如何基于认知结构互补的异质分组教学提高学习者的学习成效？
- 如何将上述技术赋能项目式学习，刻画项目式学习的学习路径？

#### （四）研究内容

针对上述的研究问题，本研究的主要研究内容包括以下的几个专题

##### 研究专题一：基于认知结构分析、表示和计算的技术的算法研究与设计

本研究专题旨在优化硕士阶段实现的一种基于图卷积神经网络实现的认知结构分析、表示和计算技术的模型，以更好地解决学习者的认知诊断和学情分析问题。

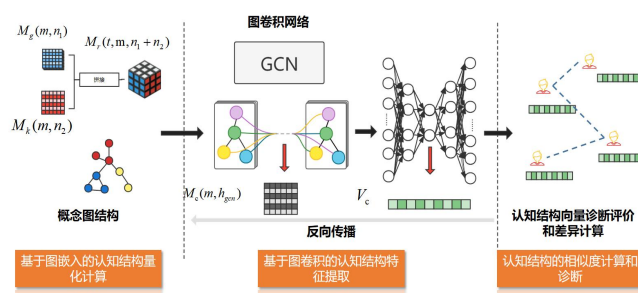


图 1 硕士阶段设计的认知结构计算模型

在这一专题中，研究者将依托硕士研究工作中的图卷积神经网络和图嵌入技术，综合其他相关研究，进一步探究认知结构的算法模型，包括知识点嵌入模型、认知结构分析算法、认知结构可视化算法、认知结构演化算法等。同时，本研究将对模型进行实验验证和优化，以便更好地运用于实际教育场景。以检测学生的学习瓶颈、推进学生的学习进程等，以支持学生学习成长和教师教学决策的科学化、智能化。通过更全面、更精细、更准确的学习评估信息，来指导学生调整学习策略，满足教师适应不同水平、不同需求学生的教学目标和课程要求。

##### 研究专题二：基于认知结构分析、表示和计算的技术的认知诊断和学情分析

本研究专题旨在利用基于认知结构分析、表示和计算的技术来实现学习者的认知诊断和学情分析，通过可视化和精准的认知分析帮助教育工作者更好地理解学习者的认知特点和学情状况。本专题将继续应用图卷积神经网络技术和图嵌入技术，利用学习者的学习数据进行分析 and 建模，以构建学生的认知结构表示，通过实验验证，保证对学生学情的可视化和情况分析的精准性。

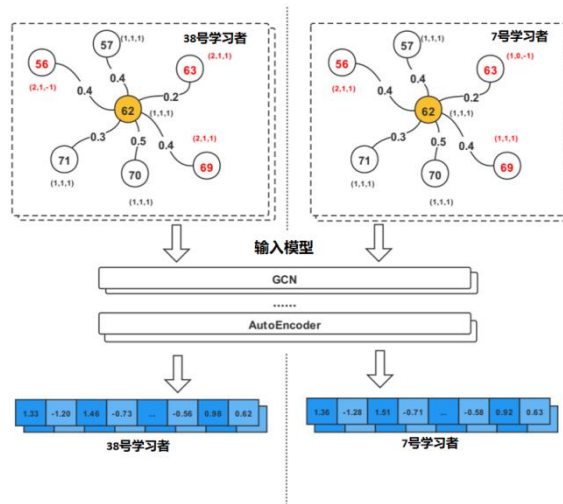


图 2 模型对不同学习者的认知结构进行表示、计算和分析

### 研究专题三：认知结构分析和计算在补救性教学中的应用实践

在本研究专题中，研究者将探究如何将基于认知结构分析、表示和计算的技术应用于个性化补救教学的实践中。提出一种包括自适应学习和认知诊断技术的补救教学系统，以更好地识别学习者的学困点，根据学生在认知结构中的学习困难点制定不同的补救教学措施，让学生通过自主学习、互动交流和师生互动等方式充分提高认知结构的深度和广度。学生在做好预习和复习的前提下，通过认知诊断技术的反馈，在知道自己的疑惑点和薄弱环节之后，便可以针对性地进行学习，提高学习效率。

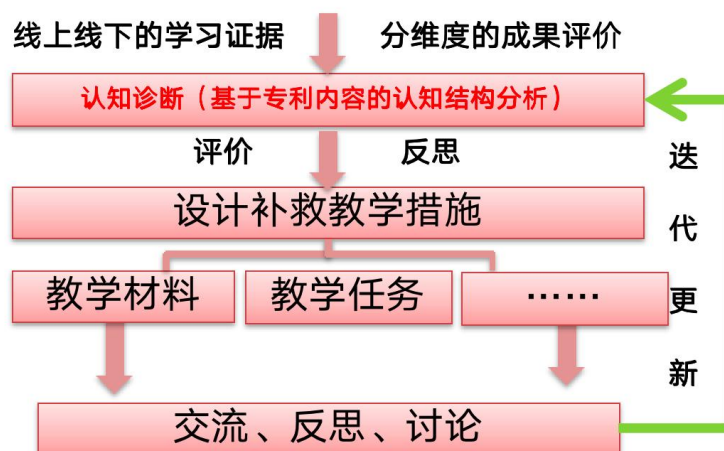


图 3 行动研究整体规划

本研究专题将对这个系统在使用对分课堂进行课程内容复习和使用翻转课堂进行内容预习的教学模式中进行验证，并评估其效果和局限性，以便更好地应用于实际教学场景中。以下是一个可能的研究方案流程：

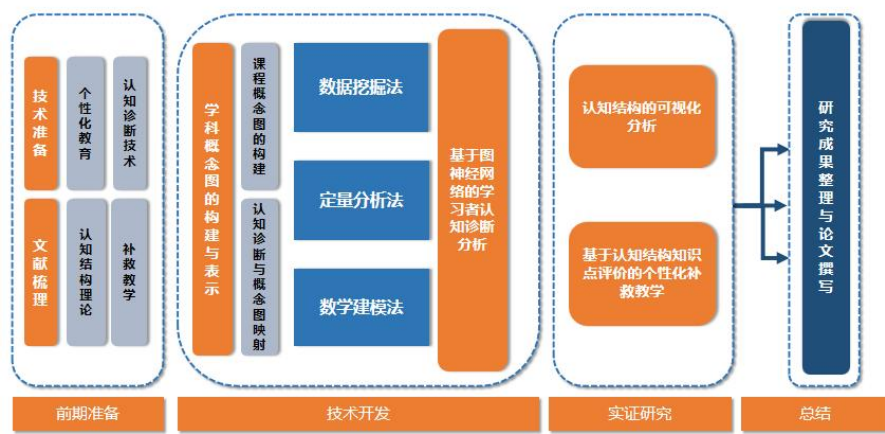


图4 专题三的研究方案

#### 研究专题四：基于认知结构的学习者异质动态分组教学模式实践

本研究专题的建立建立在[协作学习理论\[12\]](#)和[异质分组教学理论之上\[13\]](#)。由于在长期教学实践中，研究者发现了学生成绩差异之间存在交叉性和互补性的情况，真正的异质分组应该基于细节知识点开展分析而非笼统的成绩。这一研究专题旨在通过对学习者的认知结构进行分析和比较，找出学生之间的差异性，开发一种基于认知结构分析的差异互补的异质分组教学模式。以使学困生和优等生能够互补互助，形成认知结构差异互补的学习小组，从而提高学习者的学习成效，并通过实验进行验证和优化。实现随学习水平变化且始终保持认知互补的动态异构分组教学模式，让不同水平的学生进行长时间的合作学习。这种教学模式中，学生之间互相协作，互相学习，相互补充和扩展自己的认知结构。通过认知结构诊断技术的反馈，可以实现知识点间的长期优势互补。



图5 两种异质分组思路的比较

#### 研究专题五：证据导向的项目式学习中的认知诊断实践

本研究专题旨在探究如何将基于认知结构分析的技术应用于证据导向的项目式学习[14-15]中。以便更好地记录学习证书和证明学习过程。本研究将认知结构作为项目式学习的一种证据，以弥补现有评价方式的不足。



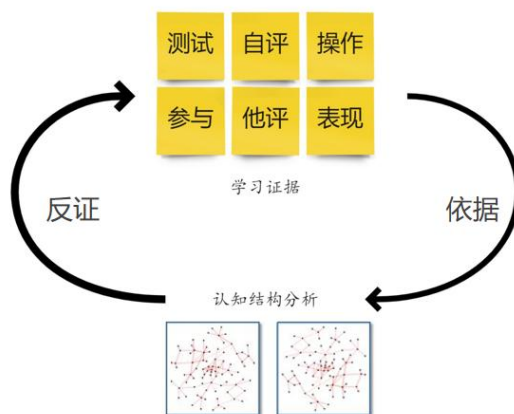


图 6 学习证据与认知结构的转化

将认知结构作为项目式学习的一种学习证据，即通过可视化学习者的认知结构地图，评价学习者在项目学习过程中对知识点掌握的具体权重，从而实现更加科学的学习评价。例如，可以将学生在项目学习过程中生成的学习证据如报告、笔记等与学生的认知结构相结合，评估学生在项目学习过程中对知识点深度的理解，提高学生在项目式学习过程中对认知结构的形成和发展的认识。此外，这一专题还将关注在项目学习过程中学习者认知结构的形成及变化过程。

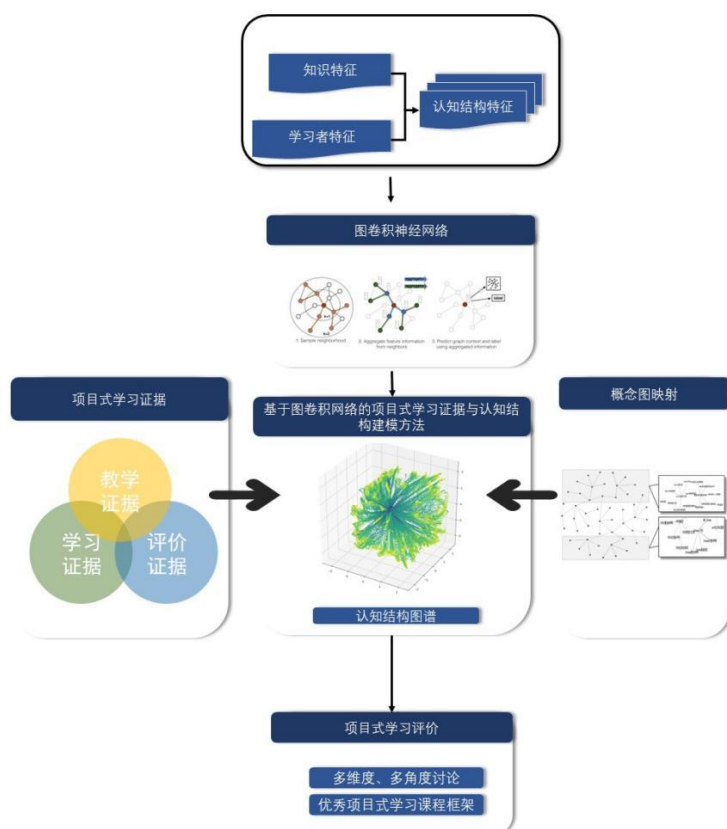


图 7 专题三的技术路线

## 二、概念界定及文献综述

### （一）认知结构与有意义学习理论

认知结构是教育心理学和认知心理学的一个基本概念。近年来，认知结构概念的发展呈

现多元化趋势。皮亚杰是最早提出认知结构这一概念的人。他认为,认知结构并不是与生俱来的,也不是由外部世界直接赋予的,而是由个体在其固有的原生图式中不断生长和发展而形成的认知图式。在与外界的相互作用下,图式进行不断反复地建构,形成了认知结构的胚胎和雏形。皮亚杰使用认知图式这一术语,将认知结构解释为在同化和顺应过程中改变认知图式结构的动态过程[16]。布鲁纳的认知发现学习理论用“类目”和“编码系统”界定了认知结构,把人类脑内中的一切概念及其组织形式当作是完整的认知结构[17]。奥苏贝尔在其著作《教育心理学:一种认知观(Educational Psychology: a cognitive view)》中提出了认知同化理论,将认知结构定义为学习者头脑里的知识结构:广义的认知结构是指学生思想的总体内容与组织方式;狭义的认识结构指在某一特定的知识领域中,学生的思想、内容和组织方式,也可以把认知结构理解为在某一特定领域中所掌握的知识的实质和组织特性[18]。

目前普遍接受和广泛应用的是奥苏贝尔对认知结构的解释,奥苏贝尔从学习者的角度阐述了认知结构是学生头脑中书本知识的再现形式。这一观点强调认知结构是学习者在脑中逐步形成知识网络,将新知识与已知知识互相结合的一种组织过程,将认知结构理解为一种脑内的知识结构[19-20]。

目前,认知结构的表达方式有两种:自然语言表达方法(Prominent natural language approaches)和图结构表达方法(Graphical approaches)[21]。在Derman的研究中,刺激词和反应词形成的反映频率关系形成了一张认知地图[22],其本质上也是一种图结构的表示方法。Snow提出认知结构的诊断可以使用一幅“地图”来识别学习困难的关键领域,并实施教学干预[23]。Nekhaev认为,一个课程存在稳定的内隐认知结构。它可以用来分析课程的教学模式,并对学习者的知识图谱进行建模[24]。由此可见,目前认知结构表示方法的主流观点是将认知结构以图结构的形式进行外化,将认知作为一个有起点和终点的地图结构,这张知识地图可以作为学习者对于知识体系的认知映射。概念图就是这种认知图式的一种体现[25]。自从在上世纪70年代末该技术被提出后,概念图技术逐渐被引入课堂,目前被广泛地应用于课堂教学和评价中。

认知结构理论自20世纪70年代以来已经渐渐成为认知心理学和基础教育领域中非常重要的研究方向。近年来,计算机科学和人工智能的发展为认知结构的研究提供了更多的技术支持。基于图嵌入和GCN的方法不断拓展了认知结构的表示和计算,使之在诊断和教育方面更具可操作性。这些技术在教育实践中得到了广泛的应用[26],有望在未来的教育中,为学生成长和教育改革作出更大的贡献。

## (二) 图卷积网络与认知诊断技术

尽管概念图能够对认知结构和每个知识点的掌握情况进行形式化表示,帮助教师对学习者的认知结构进行分析比较,但是对这种图结构既不能做到对认知结构的整体评价,也无法直接计算学习者之间认知结构的差异性特点。研究者需要针对不同学习者的概念图进行进一步的比较和挖掘,才能更了解学生的薄弱之处,进行因材施教。概念图本身是一个图结构,针对概念图的比较就是实现两个图结构的比较,以确定哪种认知结构概念图是更好更完整的。但是判断两图是否同构已经被认为是NP(Non-deterministic Polynomial, 非确定性多项式难题)难题,而子图同构问题即判断一图是否与另一图的子图同构则更加困难。

基于现代测量理论的认知结构计算模型,如:线性逻辑斯蒂克特质模型(Linear Logistic Trait Model, LLTM)[27]、规则空间模型(Rule Space Model)[28]和考虑引入额外参数作为知识点权重的属性层次模型(Attribute Hierarchy Method, AHM)[29],依然是使用一个固定分数来评价知识点的掌握程度,对于学习者知识点仍然以该知识点是“会”或是“不会”,掌握得“好”还是“不好”的绝对标准来评价,没有将认知本身的结构信息纳入比较和

计算中。殊不知,学习者对一个知识点掌握得“好”,是由于前面的知识掌握得“牢”,而不仅仅是与测试题项有关。这些方法虽然考虑到了对认知结构具体知识点的评价,也实现了对不同学习者认知结构的量化表示,但忽略了知识点之间的前提关系对于认知结构表示的影响。

近年来,随着数据驱动的计算机科学和人工智能技术的不断发展,越来越多的研究者将这些技术应用于认知科学领域,特别是应用于对认知结构的诊断和分析中。由于表示认知结构的图式数据作为一种非欧几里得空间的数据,很难进行直接的同构分析或差异比较。因此,计算机科学研究者思考和借鉴了机器学习中的卷积网络、循环网络和深度自动编码器等概念,对图数据的处理方法进行了定义和设计,这种处理图数据以进行表示学习的神经网络就被称为图神经网络(GraphNeuralNetwork, GNN) [30]

一类代表性的图神经网络模型是图嵌入,这种模型可以将图抽象为低维向量,进而实现图的分类、聚类和可视化等操作[31]。如果将一个学生学习的知识点图形化表示为一个图,那么可以根据图嵌入技术对学生的认知结构投射到一个向量空间中,以此识别他们离群的、不完整或错误的认知结构[32]。

另外,图卷积神经网络(Graphconvolutionalneuralnetwork,以下简称GCN)也是一种可靠的图神经网络计算模型,它可以在图上进行卷积运算,因此在对图的分类和聚类方面表现良好[33]。图卷积神经网络自提出以来,受到了研究人员的大量关注,图卷积神经网络的应用主要体现在图分类、网络分析和推荐系统中。第一个常用的标准任务就是图分类,在给定的图结构中,每一张图(或每一个节点)如果都有一个标记,图卷积网络可以根据图形的结构来完成对图或节点的分类和预测,即完成图结构上的知识推理。图分类可以应用在多个领域中,例如在网络分析中,一个典型的分类任务是根据论文的内容信息和文章之间的引用关系,将论文归类到所属领域当中。图卷积神经网络将节点文本属性和引文网络结构进行有效地建模,在预测上取得了巨大的成功,以GCN为代表的图卷积神经网络算法的分类准确率远高于传统的方法。第二种是推荐系统的任务,其任务本质上的工作是矩阵补全或者链接预测。在商品推荐系统中,图卷积神经网络能够更好地整合推荐系统中普遍存在的用户属性和商品属性信息,根据用户所访问的商品节点,将用户的喜好与对应的产品类别建立联系。Rex等人将卷积神经网络应用到推荐系统中[34],对每一个商品生成一个向量嵌入表示,向量中既包含了图结构又包含了节点特征信息。Wang等人提出RippleNet框架[35],通过将知识图谱信息引入到推荐系统中,从而改善了推荐系统的性能。Fan等人提出GraphRec框架[36],它包含了用户模型、商品模型和评分预测三个方面,利用注意力机制对用户的互动和社会网络信息进行了高效地建模,提高了推荐系统的准确度。在教育领域也不乏图卷积神经网络的应用,主要体现在推荐系统中。Jia等人基于图卷积神经网络和异构图,提出了一种概念前提关系学习方法(conceptprerequisitelearningapproach, CPRL) [37],该方法从一个学习对象序列(如教科书)中学习概念的前提关系表示,使得先决关系的概念被引入到课程规划和智能辅导应用中,将学习资源组织成合理的顺序,融入到知识追踪技术中,以提高教学的效果。黄昌勤等人[38]使用图卷积神经网络技术,提出了一种个性化课程推荐的系统,其本质也是图神经网络在推荐系统领域中的应用。Wang提出了一种基于图神经网络的Top-N个性化课程推荐方法(TP-GNN)[39],应用GCN来捕捉用户的访问课程的行为顺序和一般偏好以及课程类别的关系。Hiromi等人提出了[40]将知识结构转化为图,使用图卷积神经网络实现了知识跟踪,可以随着时间的推移预测学生在课程作业中的表现。准确的预测有助于学生识别适合自己知识水平的内容,从而促进更有效的学习。

在认知结构研究中,能够利用GCN网络从大量的学习活动中提取特征,构建关于学生个体认知结构的统计模型,以获取其知识点在前序知识点及相关知识点影响下的特征表示。GCN在认知诊断领域有着广泛的应用前景。通过对学习者的认知状态进行建模和分析,既可以帮助教师指导教学,也可以帮助学生更好地了解自身的学习情况,实现个性化的学习



方案。

### 三、研究过程与方法

#### （一）数据来源

本研究需要学习者的学习数据、教学资源以及在线教学平台的数据。数据来源可以通过在线教育平台、调查问卷、录课及课堂观察和爬虫技术的方式获取得到。通过与在线教育平台合作和设计问卷调查方式，获得学生在平台上的行为数据，和学习策略、学习习惯等方面的数据，以便在算法模型的开发和应用过程中能够更好地考虑到学生的个性化需求。同时，利用录课和现场教室观察学习者的学习行为、互动、合作情况等，采集相关数据，以支持算法模型的开发和调整。如果需要补充数据或者希望对现存数据进行更深入的分析，研究者将采用爬虫技术，从互联网的教育类 mooc 网站上抓取学习数据。

#### （二）主要研究方法

##### 1. 数学建模法

数学建模法是指通过建立一组使用数学语言描述问题的方程或模型来研究问题的一种方法。这种方法将用来建立基于认知结构分析和计算模型。该模型会对认知结构数据进行处理和分析，然后利用一些数学方法，如降维、因子分析等，来建立一个能够区分学困点和优势点的模型。这样，该模型可以被用来推断学生的认知结构情况，以及识别知识点之间的关系。

对于研究专题一、二的内容，利用数学建模法方法可以将复杂的认知结构表示和计算问题抽象成一组可用数学公式表示的模型。通过建立数学模型，可以更全面、更精确地描述学生认知结构，以及在不同学习阶段的演化和变化。数学建模法可以帮助研究人员对学习者的认知结构进行定量分析，快速可靠地对学习者的学情状态进行预测、评估和分析。

实施过程如下：

- 收集和整理相关文献和数据，包括学生学习数据、学习成绩和认知结构数据等。
- 在综合文献资料和数据的基础上，对认知结构分析、表示和计算过程进行数学抽象和模型设计，建立一组可用数学公式表示的模型。
- 通过实验和模拟验证数据的准确性和模型的可行性，对模型进行不断地优化和完善。
- 在不同实际应用场景中，利用所建立的模型对学习者的认知结构进行分析和预测，以便更好地实现学情分析和个性化教学。

##### 2. 行动研究法

行动研究法主要用于研究 3 和研究 5 的研究专题。该研究方法是指将研究和实践两者相结合，通常是在实际的场景中进行的一种研究方法。在博士研究中，这种方法将被用于开展基于认知结构表示和评价的教学实践。这个过程中，研究者会与教师和学生合作，共同探讨使用认知结构表示和评价方法的效果，并针对不同的教学内容和场景进行实践和反思。通过这种方式，研究者可以不断改进相应的方法和实现效果，并有机会将这些方法和实践应用到更广泛的教学场景中，同时还可以提供给其他研究者可供参考的实践案例。拟实施过程如下：

- 在实际教学场景中，通过实地调查和观察，了解学生的认知结构和学情状况，并制定改进和优化策略。
- 多次实践，不断对教学过程和教学方法进行调整和改进，以满足学习者的差异化和个性化需要。
- 在教学过程中，收集和分析学生的学习数据，对教学效果和学生学情进行评估和反思，以实现教学过程的逐步优化和提高。

### 3. 实验研究或准实验研究法

准实验研究法主要用于研究专题 4 的研究过程。准实验研究法是指保持某些元素的随机化或对照组的控制以保证结果的可信度和准确性，在实验设计上的特点类似实验设计，但是难度和时间成本相对比较低。本研究将采用这种方法来实证研究基于认知结构的分组教学方法对不同学生群体的效果。通过比较两种方法，本研究可以得到详细的实证结果来研究这种方法的有效性和实用性。拟实施过程如下：

- 根据课程设置和学生群体特征，将学生分为实验组和对照组，并进行课程设计和实验组人员选择。
- 在子课程中，分别对教学班采用基于认知结构互补的异质动态分组教学模式、基于认知结构互补的异质静态分组教学模式、基于笼统测试分数的异质分组教学模式、普通教学模式，进行平行教学实验。
- 在实验结束后，对各个组别班级学生的学习效果进行评估和比较，分析和归纳教学优缺点及存在问题。利用社会网络分析，观察在线上线下平台上教学分组中互动的规模和有效性变化。
- 根据教学结果，优化和改进动态异质分组教学模式，将其应用于更广泛的学习场景，并提高教学效果。

## 四、研究计划

### （一）第一学年计划

在第一学年，本研究将着重学习和掌握基于认知结构分析、表示和计算的的技术的相关论文和研究综述。通过梳理和分析前人在该领域的研究成果，优化改进硕士阶段提出的基于图卷积神经网络实现的认知结构分析、表示和计算技术的算法模型，以提高学生学习者的认知诊断和学情分析能力，在数据集上开展初步的实验验证，分析和评估算法的性能，初始技术可行性验证。开展更加深入的实验验证和分析，考虑不同的数据集和实际场景，评估算法的效果和适用范围。

第一学年计划的预期工作：

- 通过综述性论文梳理认知诊断领域现有的问题
- 通过开发系统以优化图卷积神经网络对认知结构的表示、分析和可视化模型
- 通过实证研究确保基于图卷积神经网络的认知结构分析的可用性和精准性

### （二）第二学年计划

在第二学年，本研究将在第一年的基础上，深入研究和完善基于认知结构分析、表示和计算技术的算法模型，进一步提高算法的准确性和可行性。以此开展针对认知结构分析在补救性教学和学生异质动态分组教学模式中的应用实践。

第二学年计划的预期工作：

- 开发认知结构互补的异质分组算法
- 在异质分组算法基础上开发随认知结构变化的动态分组算法
- 开展在对分课堂模式下基于认知结构的补救性教学的行动研究
- 预备论文开题，制定论文撰写计划

### （三）第三学年计划

在前两年的基础上，本阶段将整理协作学习和对分课堂模式下开展认知结构分析应用的实践效果，并在证据导向的项目式学习中的开展认知诊断实践；将三年的研究成果整理汇总，并将最终的研究成果整理融合成一篇综合论文；准备成果展示并进行答辩，完成博士研究生阶段的学业。

## 五、预期成果

研究的预期成果包括以下几个方面：

### 1.拓展认知结构理论的研究

认知结构是指人们对知识的内化、积累和车页过程不同阶段中所构成的内部心理结构。认知结构理论为本研究提供了理论基本,通过建立对学生认知结构的分析体系,使得学习者的学习情况更加清晰明了,并有助于实现个性化学习。

### 2.认知诊断深度融合教学模式的建立

教学模式是教学过程的制度总和,是一种覆盖广泛、影响深远的教育改革。深度融入教学模式强调将不同学科之间的知识进行有机的结合,让学生在实际学习中能够充分的综合和应用不同学科的知识,建立跨学科的综合素质。

### 3.基于人工智能认知诊断技术的个性化学习平台开放

通过建立基于人工智能认知诊断技术的个性化学习平台,对学生的学习情况进行大量的分析和计算,建立针对不同学习者的学习计划,自适应地推送学习资源开展补救性的教学策略,帮助学生有效的掌握知识点和技能点,提高学习效率。

### 4.动态分组教学模式的构建与实践

基于认知结构、人机交互和人工智能的技术手段,拟研究识别和利用具有互补性质认知结构的学生进行组队学习,在教学过程中根据其实时的认知结构变化动态变化分组结构,匹配最优质的学习伴侣。通过大量的实验,并结合不断完善改进的算法,构建出一个更加准确和可靠的分组教学平台,不断优化学生的学习效果。

### 5.证据导向下由认知结构支持的项目式学习理论研究

将认知结构作为学习证据,以考察项目式学习中的不足之处——观察学生的学习是否有效发生,根据学生在项目实施过程中的认知结构变化拓展项目式学习理论,强化项目式学习在知识结构中的不足。

## 六、讨论

### (一)可能遇到的问题

在未来进行本项研究时,研究者可能会面临以下问题:

**1.数据获取的问题。**这项研究需要大量的学习者数据,包括学生的学习轨迹和认知结构,这需要与学校或机构合作,获取到相应的数据。同时,这些数据需要经过清洗和归一化等处理,以保证数据的质量和一致性。

**2.算法复杂度的问题。**由于基于图卷积神经网络的方法的复杂度较高,可能会面临算法效率的问题,需要通过算法优化和硬件加速等手段来解决。

**3.建立基于认知结构的评价体系的问题。**本研究提出了基于认知结构的学习者评价和诊断方法,但如何将其与传统的教学评价体系相结合,建立一个完整的评价体系,需要进一步探索。

**4.实践应用的问题。**基于认知结构的学习者评价和诊断方法需要在教学实践中得到验证,如何在实践中验证和推广这项研究,需要通过与教育机构和相关专家合作,进一步深入研究。

### (二)拟解决策略

**1.研究者原为一线教师,**在数据获取问题上,研究者可与原来工作过的学校和机构展开更深入合作,获取到大量的学习者数据,并进行数据清洗和归一化,以保证数据的质量和一致性。与此同时,研究者也将探索利用现有的在线学习平台等数据资源进行模型构建和试验实践。

研究者将通过算法优化和数据结构优化等手段来解决算法方面的问题,并在效果和效率之间寻求平衡,如采用公开的虚拟云平台的 GPU 资源和分布式计算等技术来加速训练和预测。

2.本研究将参考现有的评价体系,并在此基础上建立以认知结构分析技术和认知结构发展为标准的评价体系,通过学习者的认知结构来反映其学习情况和能力,从而更加准确地评估学习者的学习水平。

3.研究者将与相关的教育机构和专家进行合作,利用实际的教育场景和实践活动,来验证和推广构建的研究成果。同时,研究者将积极参与学术会议和研讨会,推广研究成果,获取反馈并进行改进。

### (三) 博士研究展望

基于认知结构的学习者评价和诊断方法是一个新兴的研究领域,在未来的研究和应用中仍有许多拓展和深入的空间。本研究将在以下几个方面继续深入研究:

1.引入跨学科的知识,如心理学、教育学等领域的知识,来更加全面和深入地研究学习者的认知结构和学习过程。

2.进一步探索基于认知结构的评价体系,并与实际评价体系进行对比和评估,不断完善评价体系和优化教学方法。

3.将基于认知结构的评价与其他评价手段进行整合,建立全面的评价体系,为学习者提供多样化的评价方式和综合反馈,以促进其学习能力的全面提高。

4.将认知结构的使用扩展到更多的应用场景中,如在线教育、个性化教育、职业培训等领域,并开发相应的软件和应用应对实际问题。

基于认知结构的学习者评价和诊断方法有着较大的应用价值和研究空间,在未来的研究中,本研究将在三年研究中继续深入探索其理论和应用,并将研究成果转化为实际应用,为实现更高质量和更加个性化的教学做出贡献。

### 参考文献

- [1] 曹培杰.智慧教育:人工智能时代的教育变革[J].教育研究,2018,39(8):8.
- [2] 牟智佳."人工智能+"时代的个性化学习理论重思与开解[J].远程教育杂志,2017,35(3):9.
- [3] 杨现民,郭利明,王东丽,&邢蓓蓓.(2020).数据驱动教育治理现代化:实践框架,现实挑战与实施路径.现代远程教育研究,32(2),73-84.
- [4] Valverde-Berrocso,J.,Garrido-Arroyo,M.D.C.,Burgos-Videla,C.,&Morales-Cevallos,M.B.(2020).Trends in educational research about e-learning: A systematic literature review(2009–2018).Sustainability,12(12),5153.
- [5] Agra,G.,Formiga,N.S.,Oliveira,P.S.D.,Costa,M.M.L.,Fernandes,M.D.G.M.,&Nóbrega,M.M.L.D.(2019).Analysis of the concept of Meaningful Learning in light of the Ausubel's Theory.Revista Brasileira de enfermagem,72,248-255.
- [6] Goyal P,Ferrara E.Graph embedding techniques, applications, and performance: A survey[J].Knowledge-Based Systems,2018,151:78-94
- [7] Chandrasekaran,D.,&Mago,V.(2021).Evolution of semantics similarity—a survey.ACM Computing Surveys(CSUR),54(2),1-37.
- [8] Cheng,Y.,Chen,K.,Sun,H.,Zhang,Y.,&Tao,F.(2018).Data and knowledge mining with big data toward smart production.Journal of Industrial Information Integration,9,1-13.
- [9] Lund,K.,Burgess,C.,&Audet,C.(2019,February).Dissociating semantic and associative word relationships using high-dimensional semantic space.In Proceedings of the eighteenth annual conference of the cognitive sciences society(pp.603-608).Routledge.
- [10] 赵婉莉,&张学新.(2018).对分课堂:促进深度学习的本土新型教学模式.教育理论与实践,38(20),47-49.
- [11] Wei,Y.,Wang,X.,Nie,L.,He,X.,Hong,R.,&Chua,T.S.(2019,October).MMGCN: Multi-modal graph c

onvolutionnetworkforpersonalizedrecommendationofmicro-video.InProceedingsofthe27thACMin  
ternationalconferenceonmultimedia(pp.1437-1445).

- [12] Slavin,R.E.Cooperativelearning:Theory,research,andpractice1990EnglewoodCliffs.
- [13] Good,T.L.,Marshall,S.,Peterson,P.,Wilkinson,L.C.,&Hallinan,M.(1984).Dostudentslearnmorei  
nheterogeneousorhomogeneousgroups.GRANTNIE-G-81-0009,27.
- [14] 马宁,郭佳惠,温紫荆,&李维扬.(2022).大数据背景下证据导向的项目式学习模式与系统.  
中国电化教育,421(2),75-82.
- [15] Diery,A.,Vogel,F.,Wiesbeck,A.B.,&Seidel,T.Evidence-orientedteachereducation:theintegratio  
nofevidencefromeducationalresearchinhighereducation.
- [16] Jean,Piaget,Eleanor,etal.GeneticEpistemology[J].AmericanBehavioralScientist,1970.
- [17] Bruner,J.S.(1961).Theactofdiscovery.UnderstandingChildren,10-24.
- [18] Ausubel,D.P.,Novak,J.D.,&Hanesian,H.(1978).Educationalpsychology:Acognitiveview.
- [19] NovakJD,GowinDB,JohansenGT.Theuseofconceptmappingandknowledgeveemappingwithju  
niorhighschoolsciencestudents[J].ScienceEducation,1983,67(5):625-645.
- [20] EricP.ConceptMapping:AGraphicalSystemforUnderstandingtheRelationshipbetweenConcep  
ts.ERICDigest.[J].ericclearinghouseoninformation&technologysyracusenY,1997.
- [21] Ifenthaler,D.,Masduki,I.,&Seel,N.M.(2011).Themysteryofcognitivestructureandhowwecande  
tectit:trackingthedevelopmentofcognitivestructuresovertime.InstructionalScience,39,41-61.
- [22] DermanA,EilksI.Usingawordassociationtestfortheassessmentofhighschoolstudents'cognitive  
structuresondissolution[J].ChemistryEducationResearchandPractice,2016,17(4):902-913.
- [23] Snow,R.E.(1989).Towardassessmentofcognitiveandconativestructuresinlearning.Educational  
Researcher,18(9),8-14.
- [24] NekhaevI,ZhuykovI,IllarionovA.ConstructingaLearnerModelBasedontheLatentCognitiveStru  
ctureofanOnlineCourse[C].ComputerScienceOn-lineConference.Springer,Cham,2020:430-449.
- [25] JohnsonTE,O'ConnorDL,Pirnay-DummerPN,etal.Comparativestudyofmentalmodelresearch  
methods:RelationshipsamongACSM,MM,SMD,MITOCAR&DEEPmethodologies[J].2006.
- [26] 张翔翔,&马华.(2022).知识图谱与图嵌入在个性化教育中的应用综述
- [27] FischerGH.Thelinearlogistictestmodelasaninstrumentineducationalresearch[J].Actapsycho  
logica,1973,37(6):359-374
- [28] TatsuokaKK.Architectureofknowledgestructuresandcognitivediagnosis:Astatisticalpatternre  
cognitionandclassificationapproach[J].Cognitivelydiagnosticassessment,1995:327-359.
- [29] LeightonJP,GierIMJ,HunkaSM.Theattributehierarchy methodforcognitiveassessment:Avariati  
ononTatsuoka'srule-spaceapproach[J].Journalofeducationalmeasurement,2004,41(3):205-237.
- [30] 徐冰冰,岑科廷,黄俊杰,等.图卷积神经网络综述[J].计算机学报,2020,43(5):755-780.
- [31] Cui,P,Wang,X.,Pei,J.,&Zhu,W.(2018).Asurveyonnetworkembedding.IEEetransactionsonknow  
ledgeanddataengineering,31(5),833-852.
- [32] Wijaya,A.,Retnawati,H.,Setyaningrum,W.,&Aoyama,K.(2019).DiagnosingStudents'LearningD  
ifficultiesintheEyesofIndonesianMathematicsTeachers.JournalonMathematicsEducation,10(3),357  
-364.
- [33] Kipf,T.N.,&Welling,M.(2016).Semi-supervisedclassificationwithgraphconvolutionalnetworks.  
arXivpreprintarXiv:1609.02907.
- [34] YingR,HeR,ChenK,etal.Graphconvolutionalneuralnetworksforweb-scalerecommendersyste  
ms[C].Proceedingsofthe24thACMSIGKDDinternationalconferenceonknowledge discovery&datami  
ning.2018:974-983.



- [35] WangH,ZhangF,WangJ,etal.Exploringhigh-orderuserpreferenceontheknowledgegraphforrecommendersystems[J].ACMTransactionsonInformationSystems(TOIS),2019,37(3):1-26.
- [36] FanW,MaY,LiQ,etal.Graphneuralnetworksforsocialrecommendation[C].Theworldwidewebconference.2019:417-426
- [37] JiaC,ShenY,TangY,etal.HeterogeneousGraphNeuralNetworksforConceptPrerequisiteRelation LearninginEducationalData[C].Proceedingsofthe2021ConferenceoftheNorthAmericanChapteroftheAssociationforComputationalLinguistics:HumanLanguageTechnologies.2021:2036-2047.
- [38] 李明,黄昌勤,张捷,等.基于图卷积神经网络和动态权重的课程推荐方法和系统:CN110580314A[P].2019
- [39] WangJ,XieH,WangFL,etal.Top-NpersonalizedrecommendationwithgraphneuralnetworksinMOOCs[J].ComputersandEducation:ArtificialIntelligence,2021,2:100010
- [40] NakagawaH,IwasawaY,MatsuoY.Graph-basedknowledge tracing: modeling student proficiency using graph neural network[C].2019IEEE/WIC/ACMInternationalConferenceonWebIntelligence(WI). IEEE,2019:156-163.