

智慧教育方法探索：手机游戏辅助研究教学

盛浩^{1,2}, 阮利¹, 许可¹, 韩军¹, 熊璋¹, 高小鹏¹, 吕卫锋^{1,2}

(1. 北京航空航天大学计算机学院软件开发环境国家重点实验室, 北京 100191;

2. 北京航空航天大学大数据科学与脑机智能高精尖创新中心, 北京 100191)

摘要: 智能物联与泛在接入技术改变着学习方式, 传统的手机辅助教学模式只是将课堂教学中部分内容简单地移植到互联网终端, 没有充分发挥移动智能终端的灵活性和趣味性。基于学习内容碎片化和移动通信技术创新, 提出了面向辅助教学的泛在学习理论, 充分利用碎片时间与移动学习的优势, 使得碎片化学习成为可能。然后, 论证了游戏辅助教学的可行性, 包括协同学习网络、情境认知理论、泛在学习方式 3 个部分。进一步提出了以学习者为中心的游戏辅助教学模型, 由游戏辅助教学策略、学习者和教学设计模型构成, 更关注预期教学目标实现和学习粘性保持。最后, 通过两门课程的手机辅助教学实验结果验证了泛在学习理论的可行性和有效性, 并使得手机游戏辅助教学成为传统课堂教学的有益补充。

关键词: 智慧教育; 泛在学习; 手机游戏; 辅助教学

中图分类号: TN91

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-3750.2019.00136

Exploration of intelligent education method: mobile game assisted research teaching

SHENG Hao^{1,2}, RUAN Li¹, XU Ke¹, HAN Jun¹, XIONG Zhang¹, GAO Xiaopeng¹, LYU Weifeng^{1,2}

1. State Key Laboratory of Software Development Environment, School of Computer Science and Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China

2. Beijing Advanced Innovation Center for Big Data and Brain Computing, Beihang University, Beijing 100191, China

Abstract: The technology of intelligent IoT and ubiquitous access lead to the change of the learning mode. The traditional mobile phone assisted teaching mode just simply transplants some contents of classroom teaching to the Internet terminal, which does not give full play to the flexibility and interest of the mobile intelligent terminal. Based on the fragmentation of learning content and the innovation of mobile communication technology, a ubiquitous learning theory oriented to auxiliary teaching was proposed, which made full use of the advantages of fragmentation time and mobile learning and made fragmented learning possible. Then, the feasibility of game assisted teaching was demonstrated, including the collaborative learning network, situational cognitive theory and ubiquitous learning. In addition, a learner-centered game assisted teaching model was proposed, which consists of three parts including game assisted teaching strategy, learner and teaching design model. It pays more attention to the realization of expected teaching objectives and the maintenance of learning stickiness. Finally, the feasibility and effectiveness of ubiquitous learning theory were verified by the experimental results of two courses of mobile phone assisted teaching, which makes mobile game assisted teaching a useful supplement to traditional classroom teaching.

Key words: intelligent education, ubiquitous learning, mobile game, assisted teaching

收稿日期: 2019-09-29; 修回日期: 2019-11-07

通信作者: 阮利, ruanli@buaa.edu.cn

基金项目: 北京航空航天大学教学改革项目“《算法设计与分析》混合式虚拟教学模式探索”(No.2021); 国家自然科学基金资助项目(No.61861166002); 软件开发环境国家重点实验室开放基金资助项目(No.SKLSDE-2019ZX-04); 国家留学基金委公派出国项目(No.201806025026)

Foundation Items: Education Reform Project of Beihang University “Exploration of Mixed Virtual Teaching Model of Algorithm Design and Analysis” (No.2021), The National Natural Science Foundation of China (No.61861166002), Open Fund of the State Key Laboratory of Software Development Environment (No.SKLSDE-2019ZX-04), China Scholarship Council State-Sponsored Scholarship Program (No.201806025026)

1 引言

智能物联与泛在接入技术不断改变着人们的生活和工作方式,也对学习模式和内容提出了新的挑战,从而使得碎片时间的泛在学习成为可能。

传统教学以老师课堂讲解、学生被动接收为主,没有发挥学生在课堂教学中的主体性^[1];受课堂时间的限制,讲授知识与课堂讨论难以兼顾,课堂讨论内容停留在问题分析层面,缺乏深度和广度,无益于培养学生的创新意识和独立思考能力^[2-5];师生交流匮乏,知识单向灌输,课堂气氛沉闷,导致教学效果一般^[6-9]。

随着移动互联网的发展,智能手机应用已经渗透到学生生活的各个方面。中国社会科学院发布的《青少年蓝皮书》^[10]显示,小学生、初中生和高中生拥有自己手机的比例分别达 64.2%、71.3% 和 86.9%。由于智能手机更加轻便且适用于碎片化使用场景,因此,受到更多人的青睐^[11]。由此可知,充分利用碎片时间将会是课堂教学的有力补充,并可将学生的兴趣与学习相结合,寓教于乐。

网络娱乐类应用是青少年网民群体最主要的互联网应用,其中,网络游戏对青少年的吸引尤为明显。《中国青少年上网行为研究报告》^[12]显示,在所有网络娱乐类应用中,青少年网民使用网络游戏与网民总体水平的差异最明显,约 70% 的青少年使用网络游戏。如果能把游戏融入教学中,则能激发学生的学习热情、活跃课堂气氛,同时吸引学生在课下主动学习,取得良好的教学效果。

2 国内外相关研究工作

2.1 计算机辅助教学

计算机辅助教学(CAI, computer assisted instruction)指用计算机帮助或代替教师执行部分教学任务,传递教学信息,传授知识和训练技能,直接为学生服务的教学活动。相比于幻灯机、投影仪、实验仪器等设备,计算机辅助教学具有人机交互的特点,已成为重要的现代教学手段。传统的智能手机辅助教学方式主要分为两类:1) 资源浏览型,通过智能手机上网查找、下载学习资源,摆脱了物理空间和时间的限制,真正做到了将课堂学习延伸到日常的生活和工作中^[13];2) 社交协作型,为学习搭建了交流协作的平台,方便学生和教师、学生和教师之间的沟通,是理想的移动学习方式。

然而,传统的智能手机辅助教学方式无法为学习者提供个性化指导,也不能根据学习情况动态调整学习策略^[14],在反馈学习效果和调动学生学习热情上的表现也不尽如人意。以北京航空航天大学“在线网络实验平台”为例,学生可以随时随地进行网络实验,并安排老师在线解答问题。相比于传统课堂教学进步了很多,但它仅仅是一个预约实验的平台,没有对学生远程实验的效果做出反馈,只能依靠学生自己发现问题;学生按照实验步骤进行实验,趣味性不高。智能手机 APP 的快速普及为解决上述问题提供了另一个方向,计算机辅助教学缺乏灵活性和趣味性的问题可以通过手机游戏辅助教学来弥补。

国外高校在智能手机辅助教学上起步较早,项目类型多样。如美国麻省理工学院 MobileELDT 项目,旨在开发移动版本的在线语言学习系统,将 E-learning 平台上的内容以泛在方式提供给移动用户^[15];美国斯坦福大学的 Uniwap 移动学习项目,通过智能手机 APP 为学生提供学习西班牙语的环境,通过其可以学习新词、查阅词典、翻译句子以及接受在线教学指导和测试等^[16];美国阿比利大学开展的“联结项目”(connected program)通过移动设备辅助校园生活、教学和学习,更加高效、便捷^[17];挪威奥斯陆大学的 KnowMobile 项目,通过问题式学习法远程帮助医学院校学生解决实习期间遇到的问题^[18]。

国内的移动学习主要集中于国内高校^[18]。如复旦大学的“i 复旦”是网络教学平台的移动版本,用户可以进行课程的视频直播、回放,学习资源的获取以及学习过程的交流^[19];南京大学的 Calumet 项目提供课件浏览、网络信息智能检索、课件服务器访问、智能交互回答、即时测验以及其他辅助教学功能^[17];西安交通大学的 SkyClass 移动学习系统具有直播与交互、课件录制、资源管理、课件点播四大功能模块^[19];北京师范大学的学习元项目为学习者提供微型学习资源和服务,能根据学习者的个性化需求提供课程推荐^[20]。

移动学习方式给老师和学生带来了新颖的教学和学习体验,取得了良好的学习效果,但是教学中也存在一些问题,如一些学生倾向于把移动设备当作通信工具。要解决上述问题还需要教育者的不断探索、改进。

2.2 游戏辅助教学

游戏一直被视为一种良好的益智、娱乐方式,

如数独、俄罗斯方块等。随着智能移动设备的普及,人们开始花费更多空闲时间在游戏上。同时,研究人员也开始挖掘游戏除了娱乐以外的功能,如果能将游戏用于教学,作为一种具有互动性、吸引力的沉浸式活动,那么,游戏可以成为一种允许学习者积极参与学习的方式。国外研究人员开发了一款以超级马里奥为背景的游戏,帮助学生平衡二叉树,以生动的场景直观地展示二叉树的搜索、节点的插入和删除等操作,让学生在享受算法有趣性的同时学习知识^[21]。

Coloring Map 游戏被应用于教学中^[22],帮助学生理解约束满足问题(CSP, constraint satisfaction problem)的基本概念和求解算法;学生通过玩游戏可以实际模拟搜索算法所使用的步骤,在不知不觉中熟悉约束传播、回溯等概念,极大地促进了 CSP 求解和相应算法的理论教学。最后,可以再次使用游戏来测试所学的算法知识并进行实验,检验学生对 CSP 的理解程度; Binary Apple Tree 游戏被用于算法课的教学^[23],以可视化方式展示二叉树深度、广度优先等便利方法,取得了良好的教学效果;华盛顿大学计算机科学与工程系和生物化学系联合开发了一款实验性的蛋白质折叠游戏 Foldit^[24],来帮助研究者发现新的蛋白质模型,目前,该游戏已经帮助研究人员成功解决了一些通过计算机模拟无法解决的蛋白质折叠问题;心理学家通过游戏研究直接求解旅行商问题^[25]和顶点覆盖问题^[26]的过程。

3 泛在学习的游戏辅助教学模型

3.1 基于移动设备的泛在学习

泛在学习的产生来自于人们利用移动便携设备进行按需学习的需求,其充分利用了碎片时间与移动学习的优势与特点,即运用移动终端设备随时随地获取具有片段化、微型化特点的学习内容,及时满足人们的学习需求。泛在学习存在于新媒介生态中,是一种基于微型内容和移动媒体的新型学习,将学习内容分割为较小的学习模块,并且聚焦于碎片时间的学习活动。泛在学习方式的产生得益于学习内容碎片化和移动通信技术创新,从而使得碎片化学习成为可能。

泛在学习具有如下特点:

1) 学习时空泛在化:学习时间相对较短,并且零散地分布于日常生活中,在日常生活和工作中的

任何时间都可以进行,学习场所更加广泛,不再局限于传统教室。便携式学习工具实现了即时通信与交流,大大提升了学习的便捷性。

2) 学习内容片段化:学习内容由许多微小的学习片段组成,学习片段之间既有相对独立性,也包含着松散的联系,可以动态重组与更新。

3) 学习过程个性化:学习者可根据自己的实际情况和独特的学习需求在合适的时间和地点选择适合自己的学习内容,以合适的学习进度进行微学习,并进行自我检测。

4) 学习体验轻松化:学习者可以轻松地选择、获取、加工和利用微小的学习内容组块,加之可移动的、灵活的学习情境,使学习者获得一种轻快的,甚至有一定娱乐性的学习体验。

5) 学习环境生态化:学习与真实生活息息相关,学习活动更强调社会群体性,学习目的更是为真实生活服务。

泛在学习的上述特点使得人们能够方便快捷地获取知识,从而提高学习效率。相较于传统学习,具有泛在性和交互性方面的优势。学习活动不再受时间、地点限制,并且有助于学习者与教师通过网络进行持续、自由地交流。

3.2 面向游戏辅助教学的泛在学习理论

随着新型学习理论和方法的提出,使得手机游戏成为辅助教学的手段。游戏辅助教学的可行性理论由协同学习网络、情境认知理论、泛在学习方式3个部分构成,具体如下。

1) 协同学习网络:在网络时代,学习不再局限于个体活动,包括知识重新聚合的过程。其表现为个体之间知识的交流为群体的学习网络贡献知识,同时,此网络也可以把更多知识回馈给个人。

2) 情境认知理论:泛在学习具有时空泛在化和环境生态化的特点,这就决定了情境在泛在学习过程中占有至关重要的地位。只有当泛在学习内容符合学习者所处的学习情境时,学习者通过移动通信设备更方便地融入真实情境中,片段化的学习内容才能满足学习者的需求。

3) 泛在学习方式:不同于传统课堂学习方式,泛在学习是一种隐含式学习。泛在学习不受时间、地点和场合限制,利用身边的各种技术工具,实现随时随地学习。泛在学习是自发的、自主的、多样的、协作的和社会化的,具有学习地点随意性、学习时间偶然性、知识来源多渠道化、学习形式多样

化和强调协作交流环境等特点。

3.3 以学习者为中心的游戏辅助教学模型

基于上述理论，提出了以学习者为中心的游戏辅助教学模型，围绕学习者开展教学模型和教学策略设计，充分发挥游戏辅助教学的粘性，激发学习者的学习动力。以学习者为中心的游戏辅助教学模型如图 1 所示，主要由 3 个部分构成：游戏辅助教学策略、学习者和教学设计模型。学习动机是学习过程的关键因素，有利于学习者保持较高的学习积极性和参与度，帮助实现预期教学目标。以学习者为中心，根据激励机制，设计并修改应用程序的模块结构和游戏模式，通过游戏互动维持更好的学习粘性。

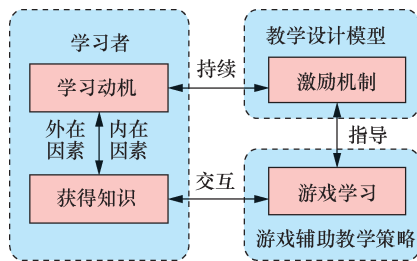


图 1 以学习者为中心的游戏辅助教学模型

教学设计中的激励机制如图 2 所示，根据学习者的学习特点与游戏设计模式的共性进行设计，激励机制包括行为设计与管理、个人能力认知与评价、期望价值等。学习者通过游戏设计并参与问题解决，指导游戏程序设计以促进和刺激学习者的动力，期待具体的游戏反馈来获得学习成果，保持更强的内在学习意义。激励机制主要由注意力机制、与学习者的关联性、保持学习者的自信心、提高学习者的满意度 4 个部分组成。

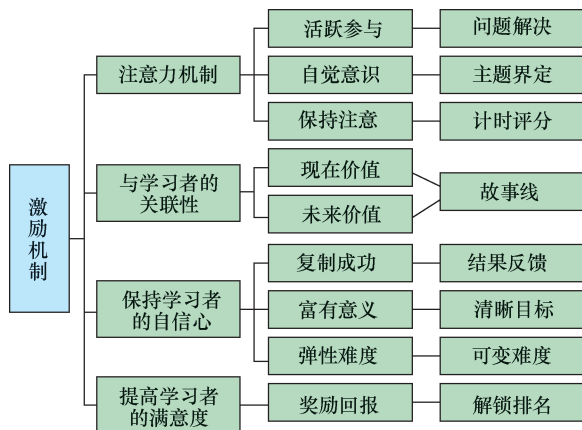


图 2 教学设计中的激励机制

1) 注意力机制：在游戏中提出问题，学习者通过解决问题来保持活跃参与；然后，对问题种类、主题、难度进行分类分级，以保持不同学习者的自觉意识；进一步地，在游戏中加入计时和评分机制，使学习者保持注意力。

2) 与学习者的关联性：在游戏设计环节引入实际场景，增强学习内容与学习者之间的关联性。通过丰富的实际应用，体现学习内容对学习者的现在价值和未来价值，激发主动性，不断沿着学习内容的故事线进行主动学习。

3) 保持学习者的自信心：为保持学习者自信心，游戏中问题解决应具有可重复性，让学习者积累经验并获得正面反馈；为每个学习者设立明确任务目标，让学习具有清晰目标。同时，通过评价系统反馈学习者水平，可手动或自动选择难度，保持学习自信心。

4) 提高学习者的满意度：游戏需要不断给予学习者奖励回报，来保持或提升学习者的满意度，主要通过游戏内环节和物品的解锁奖励、游戏内分数和能力的排名评比等方式实现。

辅助教学游戏中激励机制设计是保持趣味性和吸引力、引导学习者学习内容和方式的关键。激励机制设计如图 3 所示，激励机制由 3 项反馈组成，包括分数系统、排名系统和徽章系统。通过游戏中的表现评价，计算学习者的经验分数，对游戏者取得的成功进行分数评价，进一步进行排名比较。然后对游戏中的特定环节和里程碑设置徽章表彰模式，来促进学习者不断解决新的游戏问题。徽章系统分为两类：一类为根据学习过程中的表现获得徽章，称为表现徽章，主要体现学习过程中的各个里程碑；另一类为触发特定环节获得徽章，称为娱乐徽章，主要体现学习过程的多样性。

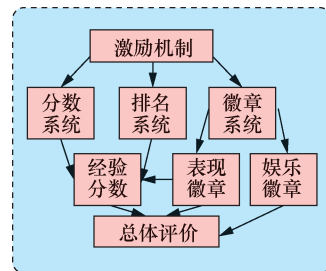


图 3 激励机制设计

与传统课堂相比，游戏辅助学习是在移动网络环境下发生的，其评价必须适合游戏辅助学习的特

点,不能通过单一目标进行评价,应该注意评价方式的多元性。在上述概念框架和激励机制下,多元评价应包括诊断知识掌握程度、及时提供反馈和引导良好学习习惯等功能。进一步地,通过游戏建立社交,促进知识分享与交流,开展协作和探讨性学习。新型的交流方式可跨越时空限制,而基于学习兴趣的自组织方式使得交流变得更加高效。

4 教学实验与结果验证

在本研究中,以泛在学习效果和效率为研究对象,通过设计手机游戏来辅助教学,帮助学生更好地理解、思考问题,设计求解问题的策略与算法。同时,也可以利用学生上传的日志数据和报告分析教学效果。

考虑学生对于手机和游戏的快速适应能力,选择计算机专业选修课《物联网导论》中路径导航问题和专业必修课《算法设计与分析》中最小顶点覆盖问题这两个典型案例进行教学实验,并对不同类型课程进行了抽样问卷调查。这两门课程知识的广度及其内容的抽象程度决定了教授和学习这两门课程都存在一定难度。在教学过程中,除了让学生掌握相关基本知识和概念外,如何培养学生分析和求解实际问题的能力也是课程的必要环节。

4.1 游戏设计原则

在游戏设计过程中,主要遵循了下面的原则:

1) 容易上手、操作简单。学生经过简单的游戏指引后即可理解游戏方式、上手操作。

2) 知识具象化、覆盖知识点。与课程教学紧密相关,将课本中的理论知识应用于游戏场景,使学生以此感受实际效果,将课程知识具象化展现出来。

3) 趣味挑战,保持粘性。为了保证解决方法的多样性和适应不同层次要求,通过不同策略组合提供较高自由度,以实现不同效果。将课程游戏进行分类和难度排序,设定关卡,引导学生由易入难、循序渐进地学习和解决问题。同一游戏设置排行榜,同时,一门课程设置一个总排行榜,排行情况分为解法正确性和耗时,实现学生间良性竞争与相互学习,并保持学习本质目的。

4.2 路径规划问题游戏设计与验证

4.2.1 游戏设计

针对《物联网导论》课程中的路径规划问题,开发了手机教学辅助游戏 SmartGo。游戏提供出发

点和目的地位置以及道路拥堵情况,合理规划行驶路径,不仅要到达目的地,还要尽可能规避拥堵路段,并且使路途时间尽可能短。游戏中智能路径规划具有较高自由度,可通过不同策略组合实现不同的效果。SmartGo 路径规划问题游戏案例如图 4 所示,提供了从起点到终点的多条路径,而“起点→1→4→5→7→终点”为最省时路径。另外,开发游戏时使用了真实的地址、道路和 GIS 地图,增强了游戏真实感。



图4 SmartGo 路径规划问题游戏案例

SmartGo 辅助教学游戏一共有 120 个关卡,需要逐步完成若干关卡,关卡难度逐渐提升。通过游戏记录以及上传的学生通过关卡数,可了解学生的完成度。本课程针对大学一年级学生,一轮课程结束共收录 152 人提交的 16 389 条游戏记录,结果统计如图 5 所示。

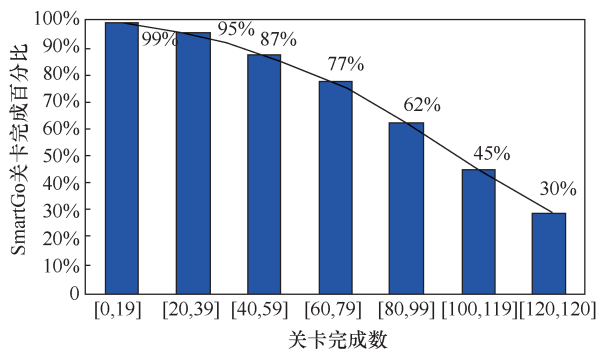


图5 SmartGo 辅助教学游戏结果统计

4.2.2 游戏反馈及效果分析

课堂上仅告知需要找到耗时尽可能短的路径规划结果,游戏设计的出发点就是带权图的最短路

径问题。通过游戏可知，91%的同学将该问题直接等价于最短路径问题；82%的同学尝试使用 Dijkstra 算法求解；63%的同学考虑道路拥挤程度不同，额外考虑每条路径的权重。

根据反馈，路径选取策略主要包括：贪心算法、朴素 Dijkstra 算法、带权重的 Dijkstra 算法和 A* 启发式搜索算法。采用不同路径规划策略的学生比例如图 6 所示。

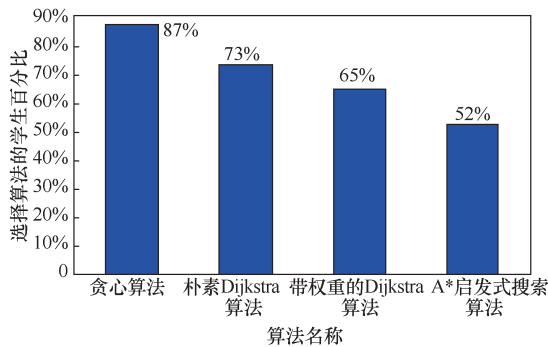


图 6 采用不同路径规划策略的学生比例

1) 贪心算法: 选择当前节点所连接路径中长度最短的路径进入队列，并将当前节点移动到与该路径相连节点，循环往复，直到达到目的地节点。路径长度贪心是面对路径规划问题时最容易想到的策略，然而，每次局部最短路径策略无法保证全局最优，甚至不确保具备可行解。87%的同学尝试了贪心算法，不过很快就发现了其局部局限性，于是尝试学习并实践其他算法。

2) 朴素 Dijkstra 算法: 以起始节点为中心，向外逐层扩展，记录搜索的路径，直到扩展到终点为止。在发现了贪心算法的局限性之后，73%的同学选择尝试了 Dijkstra 算法。在不考虑路径拥堵的情况下，Dijkstra 算法能有效找到最短路径。然而，考虑路径交通拥堵时，距离最短路径不一定是时间最短路线，于是更多的同学将每条路径权重考虑入导航策略。

3) 带权重的 Dijkstra 算法: 65%的同学考虑引入路径拥堵权重，尝试根据每条道路的拥挤情况对其进行赋权重值。对于多条最短路径，选择花费时间最少的路径作为最终结果，比朴素 Dijkstra 算法的结果更接近最优解。

4) A* 启发式搜索算法: 52%的同学发现，当起始点与目的地之间存在过多障碍时，广度优先搜索的 Dijkstra 算法并不能快速找到最短通路。在 Dijkstra 算法广度优先搜索的过程，在每个节点记

录 3 个数据，即离开起始点的距离 G 、到终点的估算距离 H 和其父节点，每次从邻近集合中取出 G 与 H 之和最小的节点，记为 F ，计算该节点与邻近节点的 G 、 H 、 F 值并放入邻近集合，重复搜索直至到达终点。A* 启发式搜索算法避免了广度优先搜索的大计算量，同时规避了贪心算法局部最优局限性导致找不到可行解的情况。同学们通过实际尝试，发现了 A* 启发式搜索算法在逻辑上是贪心算法和 Dijkstra 算法的融合与互补，由简单直观的单一策略到智能全面的策略组合，从探索研究学习的角度看，这是一种循序渐进的有效学习方式。

4.3 最小顶点覆盖问题游戏设计与验证

4.3.1 游戏设计

针对算法设计与分析课程中的最小顶点覆盖问题，开发手机教学辅助游戏 BurnAll。BurnAll 的手机教学辅助游戏案例如图 7 所示，游戏中把顶点覆盖最优解作为给定的火柴数，即给出火柴数是燃烧整个图的最小火柴数，任何小失误都会导致任务无法完成。游戏选择了 100 组数据，并根据求解过程进行分类和难度排序，设定关卡。日志数据显示算法设定难度和通过操作步数衡量的求解难度具有很好的相关性。另外，开发游戏时对图布局、操作动画等做了精心设计，来提升用户体验。

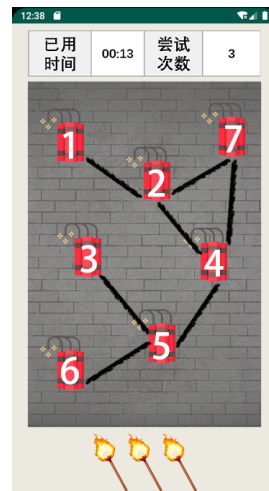


图 7 BurnAll 的手机教学辅助游戏案例

1) 游戏初始状态: n 根火柴、一幅由顶点和顶点之间连边组成的图。

2) 游戏任务: 使用 n 根火柴点燃对应数量的顶点，使图 7 中尽可能多的边燃烧。其中，点燃一个顶点可以燃烧且仅燃烧与之相连的所有边。如图 7 所示，提供了 3 根火柴，玩家通过点燃 {2,4,5} 3 个顶

点来燃烧图7中的所有边。

BurnAll 手机游戏总共设置了 100 个关卡，通过关卡操作记录上传至服务器，并提交一份报告来总结游戏过程中使用的求解策略。本课程针对大学三年级学生，一轮课程结束共收到了 149 人提交的 11 428 条记录。BurnAll 辅助教学游戏结果统计如图 8 所示。

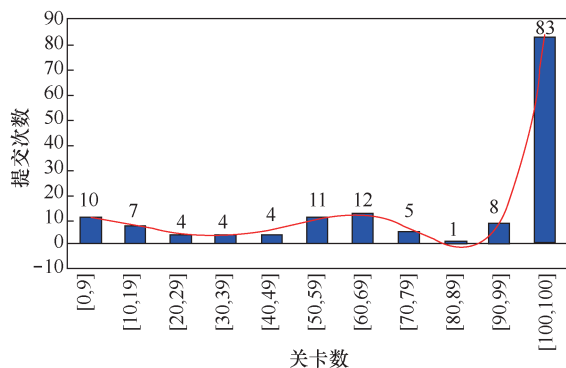


图8 BurnAll 辅助教学游戏结果统计

4.3.2 游戏反馈及效果分析

课堂上仅描述游戏操作和目标，并没有说明游戏所蕴含的图论模型。通过游戏可知，87%的同学将该问题直接等价于图论的顶点覆盖问题，8%的同学间接通过寻找图的独立集来求解，剩余 5%的同学认为可转换成最大团或二分图问题。游戏设计的出发点就是最小顶点覆盖问题，同时，该问题与最大独立集问题和最大团问题是很容易等价转换的 3 个问题。

根据反馈报告，在把游戏当做顶点覆盖问题求解的同学中，使用的游戏策略大致分为 4 类：贪心策略、叶节点策略、最大度顶点策略及图结构策略，每个同学可提出多种策略，采用不同顶点覆盖策略的学生比例如图 9 所示。

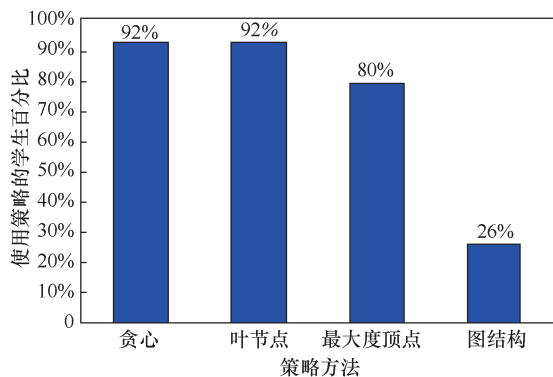


图9 采用不同顶点覆盖策略的学生比例

1) 贪心策略：优先燃烧度数较大的顶点，是求解最小顶点覆盖问题最直观、最容易想到的策略。从提交结果看，约 92% 的同学使用了度数贪心策略。然而，对于最小顶点覆盖问题，贪心很多时候并不能保证找到最优解。在游戏过程中，同学们很快会发现度数贪心的缺陷。为了弥补这个缺陷，部分同学提出了改进的贪心策略：选择度数最小顶点的度数较大邻居进行贪心，该贪心策略要明显优于简单度数贪心。为了理解度数贪心策略失效的原因，部分同学参考了最小顶点覆盖问题求解算法、复杂性的相关论文，了解到了最小顶点覆盖问题是一个 NP-hard 问题，贪心的多项式时间算法是不完全的。

2) 叶节点策略：存在叶节点时，总是可以点燃叶节点的邻居。从提交结果看，约 92% 的同学使用了叶节点策略。实际上，叶节点策略是求解无环图最小顶点覆盖的最好算法之一，也是求解稀疏图顶点覆盖问题最有效的加速策略之一。同时，叶节点策略并不像度数贪心那样直观。在多次硕士研究生入学面试中，用最小顶点覆盖问题来考查学生求解问题的能力时，并没有发现同学提出叶节点策略。而在游戏过程中，大部分同学都可以发现该策略。这反映了通过将游戏引入教学能帮助同学们更好地发掘求解问题的算法策略。

3) 最大度顶点策略：如果顶点的最大度数大于剩余火柴的数目，该顶点必须被点燃。从提交结果看，约 80% 的同学提出了利用最大度数顶点策略。该方法可对一些实例进行有效简化。实际上，该策略是顶点覆盖问题参数复杂性分析的关键步骤^[27]，用来确定规约后图顶点和边的上界。

4) 图结构策略：针对较难的实例，约 26% 的同学提出了更复杂的策略，如三角形至少有两个顶点需点燃，优先选择两个有邻居节点的顶点。图结构策略案例如图 10 所示，点燃 {2,3} 要优于点燃 {1,2} 或者 {1,3}。同时，还有如何处理多个三角形、四边形等结构更加复杂的策略被提出。

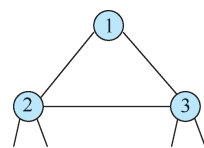


图10 图结构策略案例

同时，在上述策略都无法奏效时，日志显示学生通常会选择一个顶点进行尝试，在无法成功的情

况下，选择回退的方式进行再次尝试。约 35% 的同学对整个求解过程进行了整合，结合已有策略给出了最小顶点覆盖问题算法，其中，包含了搜索算法框架和自己发掘的策略，这显示了通过完成游戏，部分同学已经理解了问题本质，并且比较深入地掌握了问题求解算法。

4.4 抽样问卷调查结果与分析

抽样调查全校 20 门不同类别的课程，每门课程调查 50 名学生。课程类别包括一般通识类、公共选修类、一般专业类（信息）、核心专业类（信息）4 类。辅助教学方式抽样问卷结果如表 1 所示。

课程辅助教学方法抽样结果如图 11 所示，从抽样调查反馈的结果可以看出，一般通识类、非信息领域的公共选修类课程对于辅助教学的必要性需求较低；信息领域的公共选修类、一般专业类、核心专业类课程对于辅助教学的必要性需求较高。从学生对于辅助教学的需求来看，偏基础理论的专业类课程因其更抽象，理解相对较困难，对于辅助教学的必要性需求较高；而对于偏系统应用的专业

类课程，如 Java 程序设计、无线网络系统等，以培养动手能力为主，对于辅助教学的必要性需求较低。

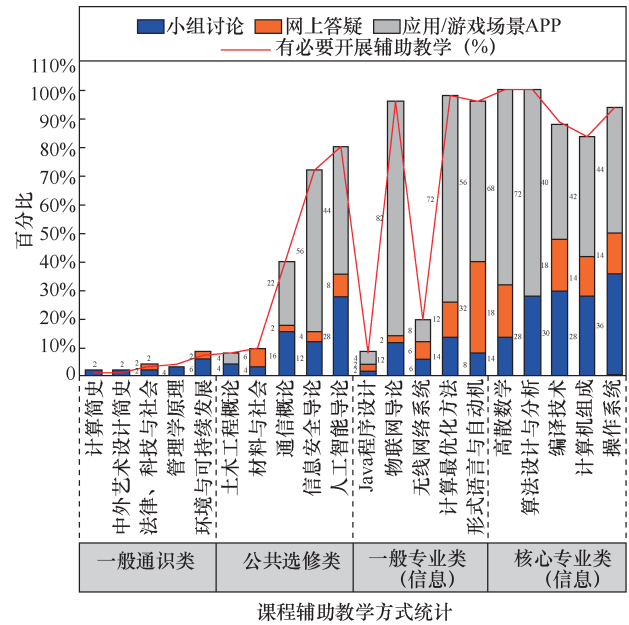


图 11 课程辅助教学方法抽样结果

表 1 辅助教学方式抽样问卷结果

课程类别	课程名称	有必要开展辅助教学	辅助教学方式		
			小组讨论	网上答疑	应用/游戏场景 APP
一般通识类	计算简史	2%	2%	0	0
	中外艺术设计简史	2%	2%	0	0
	法律、科技与社会	4%	2%	2%	0
	管理学原理	4%	4%	0	0
	环境与可持续发展	8%	6%	2%	0
公共选修类	土木工程概论	8%	4%	0	4%
	材料与社会	10%	4%	6%	0
	通信概论	40%	16%	2%	22%
	信息安全导论	72%	12%	4%	56%
	人工智能导论	80%	28%	8%	44%
一般专业类（信息）	Java 程序设计	8%	2%	2%	4%
	物联网导论	96%	12%	2%	82%
	无线网络系统	20%	6%	6%	8%
	计算最优化方法	98%	14%	12%	72%
	形式语言与自动机	96%	8%	32%	56%
核心专业类（信息）	离散数学	100%	14%	18%	68%
	算法设计与分析	100%	28%	0	72%
	编译技术	88%	30%	18%	40%
	计算机组成	84%	28%	14%	42%
	操作系统	94%	36%	14%	44%

5 结束语

本文尝试将泛在学习理论引入辅助教学中,使学生充分利用碎片时间开展移动学习。同时,论证了游戏辅助教学的可行性,通过协同学习网络、情境认知和泛在学习,将课程游戏以课程实践的形式提供给使用,为同学们提供了利用碎片时间思考课堂问题的机会,提高了课程学习的趣味性,帮助学生更直观地理解问题,发掘求解问题的算法策略。更进一步地,验证了以学习者为中心的游戏辅助教学模型对于预期教学目标实现和学习粘性保持都有良好的效果。通过游戏可以方便地模拟、验证算法策略,理解算法策略存在的问题,从而改进策略或者提出一种新的策略。两门课程的手机辅助教学实验结果显示,这种教学方法可以帮助同学们更好地理解问题、改进求解策略甚至发现新策略,验证了泛在学习理论的可行性和有效性,证明了手机游戏辅助教学是传统课堂教学的有益补充,值得进一步探索和实践。

参考文献:

- [1] 许俊杰, 陈军. 基于物联网的智慧医疗系统及其发展应用[J]. 中国医疗设备, 2017, 32(10): 118-121.
XU J J, CHEN J. Development and applications of smart health care system based on Internet of things[J]. China Medical Devices, 2017, 32(10): 118-121.
- [2] KWON D, HODKIEWICZ M R, FAN J J, et al. IoT-based prognostics and systems health management for industrial applications[J]. IEEE Access, 2016(4): 3659-3670.
- [3] 沈佳. 物联网和大数据在医疗行业的前景[J]. 中国新通信, 2017, 19(20): 164.
SHEN J. The prospect of Internet of things and big data in medical industry[J]. China New Telecommunications, 2017, 19(20): 164.
- [4] 闫丽静, 高俊国. 应用型专业基于智能手机移动教学的研究与应用[J]. 实验技术与管理, 2015, 32(10): 83-86.
YAN L J, GAO J G. Research and application of mobile teaching based on smart phone in application-oriented specialty[J]. Experimental Technology and Management, 2015, 32(10): 83-86.
- [5] 龚波, 徐建波, 王润云. 手机辅助教学平台在大学课堂中的应用[J]. 当代教育理论与实践, 2016, 8(5): 103-105.
GONG B, XU J B, WANG R Y. The application of mobile assisted instruction platform in university classroom[J]. Theory and Practice of Contemporary Education, 2016, 8(5): 103-105.
- [6] 韦茜. 让手机参与教学——将手机带进期货课堂的探索[J]. 陕西教育(高教), 2016(1): 55-56.
WEI Q. Let mobile phone participate in teaching—an exploration of bringing mobile phone into futures class[J]. Shaanxi Education (Gaojiao), 2016(1): 55-56.
- [7] 李少峰. 基于移动网的手机教学平台应用研究[J]. 网络安全技术与应用, 2014(1): 188-189.
LI S F. Research on application of mobile network teaching platform based on mobile phone[J]. Network Security Technology & Application, 2014(1): 188-189.
- [8] 魏巍. 开展数学手机软件教学提升数学应用效果[J]. 北京教育学院学报(自然科学版), 2014, 9(3): 9-12.
WEI W. Carry out the teaching of mathematics mobile software and improve the effect of mathematics application[J]. Journal of Beijing Institute of Education (Natural Science Edition), 2014, 9(3): 9-12.
- [9] 杜聪. 大学生课堂使用手机对教学有效性的影响[J]. 林区教学, 2015(2): 118-119.
DU C. The influence of college students' classroom use of mobile phones on the effectiveness of teaching[J]. Teaching of Forestry Region, 2015(2): 118-119.
- [10] 国家图书馆研究院. 青少年蓝皮书—中国未成年人互联网运用和阅读实践报告(2017-2018)[J]. 国家图书馆学报, 2018, 27(5): 105.
National Library Research Institute. Youth blue book: report on Internet use and reading practice of chinese minors (2017-2018)[J]. Journal of National Library, 2018, 27(5): 105.
- [11] 丛林. 基于技术、应用、市场三个层面的我国物联网产业发展研究[D]. 沈阳: 辽宁大学, 2016.
CONG L. Research on the development of China's Internet of things industry based on technology, application and market[D]. Shenyang: Liaoning University, 2016.
- [12] 中国青少年上网行为研究报告[J]. 网络传播, 2015(V00): 36-42.
Research report on Internet behavior of Chinese teenagers[J]. Internet Communication, 2015(V00): 36-42.
- [13] 熊明珠. 智能手机应用于教育教学的研究综述[J]. 软件导刊(教育技术), 2013, 12(5): 35-38.
XIONG M Z. A survey of the application of smart phones in education and teaching[J]. Software Guide, 2013, 12(5): 35-38.
- [14] 刘德建, 杜静, 姜男, 等. 人工智能融入学校教育的发展趋势[J]. 开放教育研究, 2018, 24(4): 33-42.
LIU D J, DU J, JIANG N, et al. Trends in reshaping education with artificial intelligence[J]. Open Education Research, 2018, 24(4): 33-42.
- [15] 李舒慷, 顾凤佳, 顾小清. U-learning 国际现状调查与分析[J]. 开放教育研究, 2009, 15(1): 98-104.
LI S S, GU F J, GU X Q. Research status of U-learning[J]. Open Education Research, 2009, 15(1): 98-104.
- [16] 郑琪, 洪明. 国外高校“移动学习”项目的成效与问题分析: 以斯坦福、赫尔辛基和比勒陀利亚三所大学为例[J]. 南阳师范学院学报, 2011, 10(5): 101-104, 109.
ZHENG Q, HONG M. An analysis of the effectiveness and problems of “mobile learning” projects conducted by universities abroad: taking the universities of stanford, Helsinki and Pretoria as examples[J]. Journal of Nanyang Normal University, 2011, 10(5): 101-104, 109.
- [17] 张珊珊. 3G 背景下高校移动学习应用案例研究: 以美国阿比利大学为例[J]. 软件导刊, 2013, 12(3): 172-175.
ZHANG S S. A case study of mobile learning application in higher education under 3G backgrounds[J]. Software Guide, 2013, 12(3): 172-175.
- [18] 刘志. 移动学习的现状及其评述[D]. 上海: 上海师范大学, 2012.
LIU Z. The current situation and review of mobile learning[D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2012.
- [19] 朱学伟, 杨伟, 顾健辉. 国内外高校移动学习案例分析研究[J]. 中国教育信息化, 2014(21): 9-11.
ZHU X W, YANG W, GU J H. A case study of mobile learning in colleges and universities at home and abroad[J]. The Chinese Journal of ICT in Education, 2014(21): 9-11.
- [20] 高梦楠, 任娜. 国内移动学习典型案例[J]. 中国教育网络, 2015(4):

33-34.

GAO M N, REN N. Typical cases of mobile learning in China[J]. China Education Network, 2015(4): 33-34.

- [21] WASSILA D, TAHAR B. Using serious game to simplify algorithm learning[C]//International Conference on Education and E-Learning Innovations. IEEE, 2012.
- [22] HATZILYGEROUDIS I, GRIVOKOSTOPOULOU F, PERIKOS I. Teaching aspects of constraint satisfaction algorithms via a game[C]//Third AAAI Symposium on Educational Advances in Artificial Intelligence, 2012.
- [23] KARAPINAR Z, SENTURK A, ZAVRAK S, et al. Binary apple tree: a game approach to tree traversal algorithms[C]//2012 International Conference on Information Technology based Higher Education and Training. IEEE, 2012: 1-3.
- [24] EIBEN C B, SIEGEL J B, BALE J B, et al. Increased diels-alderase activity through backbone remodeling guided by foldit players[J]. Nature Biotechnology, 2012, 30(2): 190-192.
- [25] DRY M, LEE M D, VICKERS D, et al. Human performance on visually presented traveling salesperson problems with varying numbers of nodes[J]. The Journal of Problem Solving, 2006, 1(1): 20-32.
- [26] CARRUTHERS S, MASSON M E J, STEGE U. Human performance on hard non-euclidean graph problems: vertex cover[J]. The Journal of Problem Solving, 2012, 5(1).
- [27] BUSS J F, GOLDSMITH J. Nondeterminism within P[J]. SIAM Journal on Computing, 1993, 22(3): 560-572.

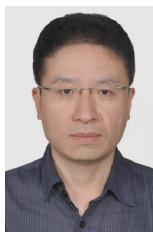
[作者简介]



盛浩（1981-），男，浙江台州人，博士，北京航空航天大学副教授、博士生导师，主要研究方向为计算机视觉、模式识别和机器学习。



阮利（1978-），女，四川崇州人，博士，北京航空航天大学计算机学院讲师、硕士生导师，主要研究方向为并行与分布式计算和软件优化。



许可（1971-），男，重庆人，北京航空航天大学教授、博士生导师，主要研究方向为算法和人工智能。



韩军（1969-），男，黑龙江哈尔滨人，北京航空航天大学教授、博士生导师，主要研究方向为网络综合优化设计、现代计算方法和分布式计算。



熊璋（1956-），男，湖北黄陂人，北京航空航天大学教授、博士生导师，主要研究方向为多媒体技术和大型信息系统开发方法。



高小鹏（1970-），男，北京人，博士，北京航空航天大学教授、博士生导师，主要研究方向为计算机系统结构和嵌入式系统。



吕卫锋（1972-），男，山东济南人，博士，北京航空航天大学教授、博士生导师，主要研究方向为海量数据处理和算法及大型信息系统开发方法。