

像教育人一样教育机器

——人类教学经验能否提升通用人工智能系统的学习效果？

刘凯¹ 贾敏³ 孙常新² 马玉慧² 王伟军³

(1.渤海大学 通用人工智能研究所, 辽宁锦州 121013; 2.渤海大学 教育科学学院, 辽宁锦州 121013;
3.华中师范大学 心理学院, 湖北武汉 430079)

【摘要】人工智能分为专用与通用两个分支。二者皆可与教育融合,但存在本质区别:前者关注如何用人工智能手段解决教育问题,如智慧教育;后者却反向聚焦怎样用教育手段解决人工智能问题,如机器教育。既有研究已实证后者的必要性与可能性,本研究通过创设“智能避障”的具身实验任务验证人类教育经验对通用人工智能系统学习效果的影响,尝试验证“机器教育”的有效性。实验自变量来自人类教学过程的四类重要影响因素,分别是教学目标、教学内容、教学节奏和教学空间。结果发现,通用人工智能系统对教学目标的激活频率、教学内容的正确率、教学节奏的时间间隔以及教学空间的大小等指标具有与人类学习者高度相似的敏感性,都可由教学参数的调整而获得更佳的学习效果。因此,人类教育经验同样可推广至通用人工智能系统。对“人机兼容”客观教育规律的确证,不仅用科学证据有力地回击了对教育理论科学性的质疑,亦有望实现教育学对人工智能研究的逆向反哺。

【关键词】教育;通用人工智能;机器教育;教学原则;有效性

【中图分类号】G434 **【文献标志码】**A

【作者简介】刘凯(1981—),男,山西晋城人。博士,副教授,硕士生导师,主要从事通用人工智能、机器教育、主动视觉研究。E-mail: ccnulk@ccnu.edu.cn。

一、引言

人工智能具有专用和通用两种不同取向,分别对应专用人工智能(Special-purpose AI, SAI)与通用人工智能(Artificial General Intelligence, AGI)。由于研究目的各异,二者具有完全不同的理论框架和技术路线。专用人工智能通过预设算法解决特定领域问题,目前学术界与实业界中“人工智能”一词的内涵几乎等同于专用人工智能。通用人工智能则致力于研发先天的元学习能力,并借助后天教育经验获得特定问题的满意解。

尽管专用人工智能和通用人工智能都可与教育融合而发挥重要作用,但作用机理却各不相同:前者类似“物理作用”,后者则类似“化学作用”。在专用人工智能的“物理作用”下,传统的教育时空阻隔被打破,彰显出专用技术的工具优势,比如MOOC、智慧教室、智能导学系统等。在通用人工智能的“化学作用”下,教与学的角色从人类拓展至能思考、有情感的通用人工智能系统。这拓宽了教育的边界,充实了教育的内涵,并向学界展现出一处有着巨大挖掘潜力的科学“宝藏”——教育学之所能,绝不仅仅是它当前之状。实际上,人类与机器共通的教育现象蕴含的新问题、新领域亟待探索^[1],有助于从交叉学科视角下发展“能够直面现实”的原创性基础理论^[2]。例如,对话效果惊艳的ChatGPT系统,其成功并非来自技术突破,而是人类反馈强化学习(Reinforcement Learning from Human Feedback, RLHF)中引入的人因干预手段^[3]对机器训练模型发挥了重要作用——让人“教育”机器。

与专用人工智能赋能人类教学的“正向”路线不同,既有研究证实了“机器教育”——即人类教学经验“反向”赋能通用人工智能的可能性^[4]。然而,可能性不等于有效性,可以被教育并不意味人类教育经验对通用人工智能系统的学习效果也必然具有积极影响。因此,本研究为通用人工智能系统搭建出一个可感知的虚拟教学场景,通过一系列受控的行为学实验尝试回答“有效性”问题:人类教学经验能否切实提升通用人工智能系统的学习效果?若结果为真,便说明人类教育规律既适用于人类也适用于机器。“人机兼容”客观规律的存在与发现,不仅为教育科学拿出可重复及可证伪的科学证据,亦有望为破解人工智能研究中“解释力弱”“灾难性遗忘”“语义不接地”“因果析取难”“组合爆炸”等理论难题,贡献出独具特色的教育学

解决方案。

二、通用人工智能及 OpenNARS 系统

近年来，通用人工智能研究热度持续攀升，智能的理智主义研究路线备受学界关注^[5]。目前，非公理逻辑推理系统（Non-Axiomatic Reasoning System, NARS）逐渐成为通用人工智能的重要代表，其开源项目 OpenNARS 具有较为完备的理论基础。作为自治和发展型的人工认知系统，该系统的学习机制具有三个主要特征：一是利用个体经验进行推理，可基于最佳竞争证据做出决策；二是通过多模态输入通道感知外部世界，并以运动形式经由输出通道作用外部世界，从而在交互中表现出对外部环境的主动适应性；三是可接纳并处理冲突性的目标或经验，能够对不确定条件进行实时响应，及时给出“合理解”^[6]。虽然 OpenNARS 的学习能力为先天预设，但学习内容却需要后天获得。于是，刚运行的 OpenNARS 像极了人类婴儿——需要陪伴和养育，而养育的目标则是通过交互积累经验以保障系统完整性及功能运转正常（比如维持电量）。

若想借助通用人工智能系统的学习行为探索机器教育的内在规律，就必然涉及通用人工智能系统与外部世界互动中的感觉和运动过程。不论人类婴儿还是机器婴儿，感觉和运动都是智能主体经验获取的基本途径，且二者相互促进，在后天学习中具有决定性作用。其中，感觉的发展是主动学习的前提条件，动作的发展则经历反射及辐射的阶段，亦促进了智能主体的认知发展^[7]。虽然通用人工智能系统的感觉和运动器官跟人类的生理构造完全不同，但感觉和运动之间的经验建构原理却与人类毫无二致。因此，对于通用人工智能系统而言，机械设备的原子操作便成为其感觉、运动能力发展的原材料。

OpenNARS 的感觉、运动交互涉及一系列内部处理过程：首先，由各类传感器对外部环境信息进行捕捉和提取。继而，围绕目标系统进行信息处理，根据实际需求及推理结果发出移动指令。最后，通过传感器反馈信息对移动指令的效果进行重评——基于可供性（Affordance）对有用的经验证据进行整合与存储。OpenNARS 依靠内在的 SELF（自我）机制实现对感觉和运动信息的整合，如图 1 所示。SELF 本质是一个特殊的系统变量，不仅负责系统内部心智操作的实现，还是外部信息与内部经验的语义交汇枢纽。外部传入的感觉信息与内部发出的移动指令都采用纳思语（Narsese）这一系统内语言进行统一的形式化表征。二者以 SELF 可供性的主观价值判断为中介建立经验联结，再通过后续学习过程增强或减弱联结的强度。于是，当特定的感觉信息再次出现时，OpenNARS 便能够主动激活相应的移动指令作为动作输出。或者，当执行特定的动作输出时，OpenNARS 便能够主动预期特定感觉的出现^[8]。



图 1 OpenNARS 感觉运动的自我中介机制

三、问题提出

机器教育的可能性已经得到证实，说明人类教育经验也能够对通用人工智能系统的学习过程产生影响。但是，这种影响的性质仍不得而知。因此，需要对机器教育的有效性进行验证，探究其是否具有积极的促进作用。然而，可能性与有效性的判别方式不同，前者可采用内源性判据，后者则必须使用外源性判据。换言之，前者通过对通用人工智能系统内部的记忆网络形态改变即可确定人类教育干预的可能性，但记忆网络本身的改变甚至巨变都不能作为后者教育干预生效的直接证据。人脑亦如此，在教育过程中，学习者前额叶 fMRI 信号的即时变化只能说明教育可能对其产生作用，但特定脑区究竟发生何种作用却无法经直接由内部状态获知^[9]。因此，有效性验证只能以主体的外部行为作判据，通过对通用人工智能系统行为的功能表现来间接评价教育干预的效果。本研究创设了简洁而直观的运动避障任务：运动有利于提升安全值，但撞到障碍物会降低安全值，OpenNARS 需要学习在保持积极运动的同时避免撞到障碍物。

不过，通用人工智能系统只是具备认知功能、能够学习和推理的软件“大脑”，并未配置外部器官，无法天然地展现出任何外在行为。唯有为其加装感觉、运动器官后，运动避障任务才能在“身心一体”的意义下真正实现。事实上，通用人工智能系统的成长开端和人类婴儿高度相似，也需要借助自身感觉、运动设备直接获取具身经验。和人类不同的是，通用人工智能系统感觉、运动器官的种类和形态可以多种多样。但从

理论层面看，为完成运动避障任务，训练人形或轮式机器人并无实质区别。也就是说，究竟装配步足、履带还是车轮等运动“器官”，只是系统的“感觉”各异，却非“移动”的原理有别^[10]。

因此，为便于实验操作，本研究将 OpenNARS 的身体设定为汽车形态，使其拥有两端测距的“感觉”能力及左右移动的“运动”能力。通过开发“智能避障”的二维虚拟场景，将其避障行为作为人类教学原则干预 OpenNARS 学习效果的测评指标。

在验证机器教育可能性的实验中，教学目标和教学空间都未发生变化。这类似人类学生在教室集中学习的狭义教学场景，对应的是狭义的教学原则。然而，有效性的研究需要对学习行为进行效果评判，只有广义的教学原则框架才能与之相适。鉴于一般教学过程总涉及教学目标、教学内容、教学实施及教学空间四个方面，本研究将根据实验目的从中拣选典型、易测且有实证依据的人类教学原则作为研究变量。

首先，教学目标体现了学生学习的动力朝向。现有教学原则特别强调学生的“自主性”^{[11][12]}，这需要学生动态地将学习目标保持在一定的激活水平上。其次，教学内容直接影响学习效果的优劣，“做示范，给样例”^[13]的教学原则强调教学内容需提供适宜的经验示例以更好地促进学习。第三，教学节奏是教学实施过程中影响学习效果的重要因素。“给学习者一定时间进行认知处理，以使学习者内化所学概念”^[14]以及“节奏效应”^[15]等教学原则申明教学过程不能一味灌输知识，要留给学习者适当的时间思考和消化，这有赖于教师对时间间隔的把控。第四，教学空间对学习效果亦有一定影响。“可管理的认知负荷”^[15]教学原则指出教学空间对学生的适度反馈能对学习起促进作用，但超负荷的环境反馈却会适得其反。

本研究以通用人工智能系统 OpenNARS 及其直接操控的虚拟小车作为实验对象，以小车完成避障任务的学习效果作为实验因变量，并选择教学目标、教学内容、教学节奏以及教学空间的可操作性因素作为实验自变量。基于研究目的及对自变量的分析而提出如下研究假设：

假设 1：持续的教学目标能够促进通用人工智能系统的学习效果；

假设 2：适宜的教学内容能够促进通用人工智能系统的学习效果；

假设 3：适合的教学节奏能够促进通用人工智能系统的学习效果；

假设 4：适度的教学空间能够促进通用人工智能系统的学习效果。

四、实验设计

（一）实验对象

通用人工智能系统 OpenNARS，版本号 3.0.4。

（二）实验环境

本研究以“智能避障”虚拟场景作为实验环境。该虚拟场景基于 Python 语言开发，使用 Pygame 进行动画与流程设计，并利用 Visdom 实时绘制特定指标的动态曲线图。需要指出的是，原本为 OpenNARS 装配的是实物形态的轮形树莓派智能小车，但操作中发现 OpenNARS 的初始状态极易受物理环境干扰而出现“蝴蝶效应”，导致后续研究失去意义。故而，为避免实际操作的惯性测量偏差以及不可控因素的随机侵扰，最终采用虚拟场景的实验方案。

1. 场景设置

“智能避障”场景的基本元素包括左、右两处固定障碍物和一辆可由实验人员或 OpenNARS 控制运动的虚拟“小车”（如图 2 所示）。为便于实验观测与统计，三个基本元素的宽度及小车单次移动距离皆设置为 50px，并将其定义为单位长度。除可见元素外，在小车左右两侧分别部署了两颗“雷达”传感器，用于测量小车与两侧障碍物之间的实时距离，并将距离的变化信息即时反馈给 OpenNARS。

此外，本研究将小车与障碍物之间距离为 0px 时的位置定义为临界点。故存在左、右两个临界点，代表即将碰撞又恰好未撞之处。当小车处于临界点时，继续向障碍物方向移动便会“撞墙”，即避障失败，将导致安全值降低；反之，小车朝相反方向移动则为避障成功。由于本研究无需考虑诸如碰撞造成“墙体”或“车体”等机械损毁情况，所以小车在“撞墙”后实际位置将保持不变，仍停留在临界处等待后续指令。



图 2 虚拟实验场景

2. 模式选择

由于 OpenNARS 系统并未预置任何先验知识，启动后若无外部刺激输入，它将一直处于“大脑空转”的静默态，没有输出也没有动作。因此，实验开始后，小车需要从外部接受移动指令才能激活感觉和运动系统并进行推理学习。这一阶段被称为“教学引导阶段”，也是教育干预发挥主要作用的关键窗口期。在教学引导阶段之后，小车将根据学习经验而自主产生移动指令，该阶段被称为“自主行为阶段”。在教学引导阶段，不同的训练模式对应具有不同性质的外部移动指令来源。其中，“随机模式”的移动指令序列由电脑随机生成，“教学模式”的移动指令序列则由人工预先编制。在实验启动之前，需要从包含“随机模式（Stochastic Training Modal）”和“教学模式（Instruction Modal）”的菜单中选择相应的训练模式。

3. 交互接口

为实现 OpenNARS 与虚拟环境的持续交互和行为反馈，定制开发了接口模块，用于将小车的感觉信息和移动指令与纳思语进行双向转译。同时，这也是实验者对 OpenNARS “大脑活动”——其内部信息进行判别和记录的对外观察窗口。

接口传输的具体信息分为感觉信息、运动信息以及系统目标三类。其中，感觉信息由小车主、右两个传感器 {lsensor} 与 {rsensor} 产生，并与 SELF 建立联结：“< SELF —> {lsensor}>.” “< SELF —> {rsensor}>.”，这能让 OpenNARS 在主观上知晓自身有两个感觉“器官”。运动信息为 OpenNARS 先天预置的左、右移动指令：^left 与 ^right，类似人类婴儿的先天反射。系统输入的原初目标为 “< SELF —> [safe]>.”，目的是保持自身的安全状态。

当实验开始后，接口模块负责持续监听传感器产生的距离信息，将其装配成合法纳思语后单向送入 OpenNARS，例如：“< {lsensor} —> [50]>.”。与此同时，接口模块也持续监听来自 OpenNARS 内部的输出操作，从输出信息流中筛选并提取由 SELF 发出的左、右运动信息，再将其转写为虚拟环境中小车的移动指令，小车的后续移动又反过来引发感觉信号的变化，如此循环往复。此外，当小车“撞墙”时，安全值 ([safe]) 会降低，远离了目标的达成（如图 3 所示）。最为重要的是，此时距离感觉便会与相应的移动指令建立联系，共同为本次目标受损提供基于经验的语义解释，这也是 OpenNARS 中可供性的经验落脚点。一切加工推理的过程都围绕 SELF 进行，感觉与运动对目标的影响便不断累积与强化而成为 SELF 学习的重要成果，并最终展现出“实时性”“主观性”“建构性”的特点。

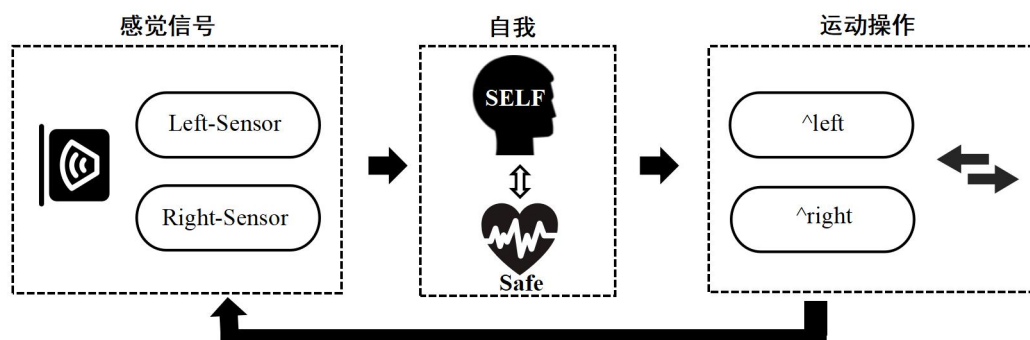


图 3 OpenNARS 交互接口

（三）自变量

本实验自变量涉及教育过程的四种基本因素：教学目标（G）、教学内容（C）、教学节奏（R）以及教学空间（S）（如图4所示）。

1. 教学目标

教学目标（G）是课堂活动的出发点和落脚点，也是教学评价的重要指标。教学目标不仅影响教学过程的实施，很大程度上也决定着学习效果的好坏。本研究中，教学目标的内容保持不变，变化的是教学目标的传输频率，对应于学习过程中的动机激活水平。换言之，传入的教学目标频率越高，OpenNARS 参与避障任务的动机水平越高。因此，为探究不同教学目标传输频率下 OpenNARS 在避障任务中的学习效果，本研究将教学目标自变量设置为四个水平，按照频率由高至低排列分别是：①“仅首次”（G₁），②“1 秒/次”（G₂），③“5 秒/次”（G₃），④“10 秒/次”（G₄）。其中“仅首次”（G₁）为极端情况，仅在系统开始时传入一次教学目标。

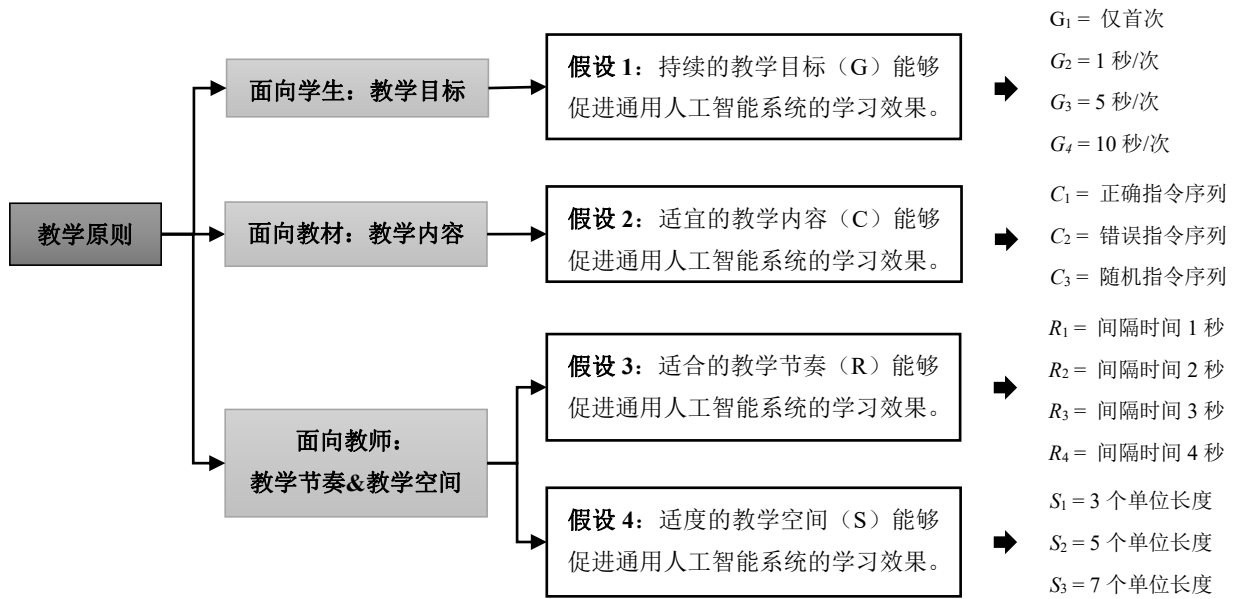


图4 自变量设计

2. 教学内容

教学内容（C）的设置直接影响学习效果的优劣，许多教学原则均强调示例的重要性。通常情况下，符合教学目标的正确教学示例有助于学习效果的提高，但错误的教学示例会阻碍或延误对知识的掌握。对 OpenNARS 而言，则意味着教学引导阶段性质不同的移动指令序列可能会导致差异化的学习效果。因此，为研究不同教学内容对 OpenNARS 智能避障任务学习效果的影响。本研究将教学内容自变量设置为三个水平：①全部由正确的指令序列构成（C₁），②全部由错误的指令序列构成（C₂），③全部由正确与错误随机组合的指令序列构成（C₃）。其中，C₁和C₂是为了显著区分内容性质对学习效果的影响作用，C₁全部由成功避障的指令构成，C₂全部由避障失败的指令构成，而C₃中的指令由随机生成，为成功和失败指令的乱序混合。

3. 教学节奏

教学节奏（R）是人类教师在教学实施过程中为实现教学目标而广为使用的时间控制手段，体现着教与学的交互性和协调性。特别是，教学节奏形成的适当间隔有利于学生思考和建立新旧知识间的联接，对知识的吸收内化有促进作用。本研究中，教学节奏对应于教学引导阶段外部指令输入的固定间隔时间，间隔时间越长，OpenNARS 对新指令的“思考”（推理时间）就越充分，学习效果可能会更好。因此，根据实验环境的基本参数设定，本研究将教学节奏自变量设置为四个水平：①间隔时间 1 秒（R₁），②间隔时间 2 秒（R₂），③间隔时间 3 秒（R₃），④间隔时间 4 秒（R₄）。

4. 教学空间

教学空间（S）是开展教学活动的实际场所，既可以是物理空间，也可以是虚拟空间。对于人类学习者而言，教学空间默认为物理空间。良好的学习行为离不开适合教学空间的支撑。运动技能训练尤其如此，不同运动项目的学习需要与之相匹配的练习场地。本研究中，教学空间为小车运动空间的宽幅，空间越大所感知运动信息就越多，同时也意味着更低的“目标—资源”比，对 OpenNARS 学习过程的认知负荷提出更大挑战。

由于车长及每次移动距离均为 1 个单位长度，故将教学空间自变量设置为三个水平：①3 个单位长度（ S_1 ），②5 个单位长度（ S_2 ），③7 个单位长度（ S_3 ）。

(四) 因变量

实验过程中需要测量的行为指标包括三个部分（见表一）：1）实验全程的耗时、小车的运动结果，2）教学引导阶段内小车的运动过程及结果，3）自主行为阶段内小车的运动过程及结果。出于数据采集的便捷性考量，以下指标的数值输出直接展示在实验主界面中（如图 5 所示）。

表一 行为测量指标及其含义

	指标名称	含义
实验全程	总时间	实验全程总时长
	总成功次数	实验全程小车遇到障碍物未发生碰撞的总次数
	总失败次数	实验全程小车遇到障碍物发生碰撞的总次数
	总次数	实验全程小车的成功次数与失败次数之和
	成功率	实验全程小车的成功次数与总次数之比
	激活率	实验全程 OpenNARS 持续运动的频率
教学引导阶段	教学运动次数	教学引导阶段小车的移动次数
	教学成功次数	教学引导阶段小车遇到障碍物未发生碰撞的次数
	教学失败次数	教学引导阶段小车遇到障碍物发生碰撞的次数
	教学总次数	教学成功次数与教学失败次数之和
	教学成功率	教学成功次数与教学总次数之比
	教学运动过程	记录教学引导阶段小车的避障经验
自主行为阶段	自主运动次数	自主行为阶段小车的移动次数
	自主成功次数	自主行为阶段小车遇到障碍物未发生碰撞的次数
	自主失败次数	自主行为阶段小车遇到障碍物发生碰撞的次数
	自主总次数	自主成功次数与自主失败次数之和
	自主成功率	自主成功次数与自主总次数之比
	自主运动过程	记录自主行为阶段小车的避障经验

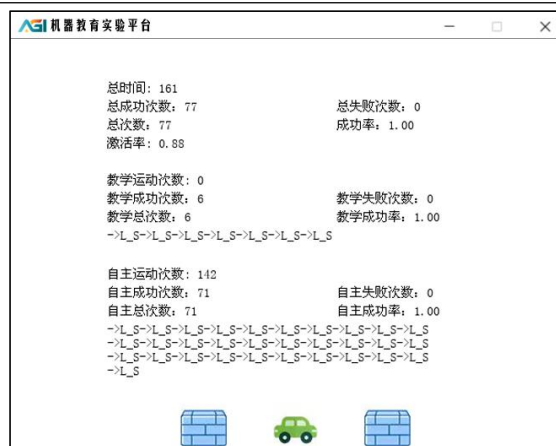


图 5 指标的数值输出界面

所有实验的因变量均保持一致,为 OpenNARS 在避障任务中的学习效果,用连续运动下对两侧障碍物躲避行为的激活率和成功率来标识,并以成功率为主要评判指标。为抵消实验的偶然性偏差,借鉴心理学大样本的实验对象数量选取方式,每项实验需重复进行 30 轮次,逐次记录并统计各项实验的激活率与成功率。为便于对重要测量指标进行持续监控和判断,为教学成功率、自主成功率、成功率和激活率四项关键指标开发了网页端的动态展示界面,用以实时观察这些指标的动态变化过程(如图 6 所示)。

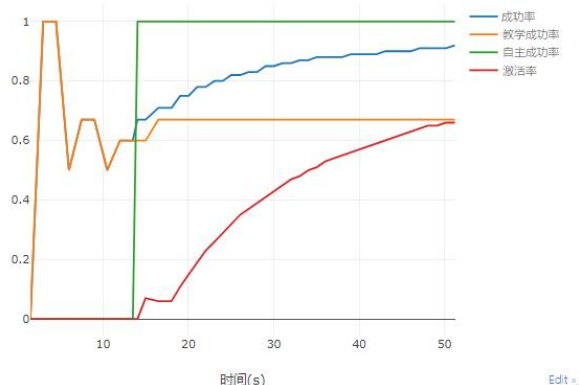


图 6 激活率和成功率曲线图

(五) 实验流程

在教学引导阶段，尝试借助人工移动指令的引导促进 OpenNARS 对感觉运动信息的学习，并将其作为自主行为阶段 OpenNARS 对小车发出内部移动指令的经验基础，进而观察整个过程中任务的完成情况以确定 OpenNARS 的学习效果。具体流程设计如下：实验开始前，当自变量为“教学目标”“教学节奏”、“教学空间”以及“教学内容”的“全部正确序列”和“全部错误序列”水平时，按照自变量的不同水平设定软件参数后，选择“教学模式”开始实验；当自变量为“教学内容”的“随机序列”水平时，选择“随机模式”开始实验。实验开始后，先进入教学引导阶段，随后进入自主行为阶段，观察并记录两阶段中 OpenNARS 执行避障任务的各项指标值。每项实验重复 30 次，待实验结束后，对数据进行整理分析，计算各自变量在多个水平下的激活率和成功率及其差异显著性。

五、实验结果

(一) 实验一：持续的教学目标对通用人工智能系统学习效果的影响

教学目标激活频率的强度体现了学习者在学习过程中的动机水平。从实验一的结果（如图 7 所示）可知，教学目标激活频率的不同水平对应着不同的学习效果，且所有组间差异检验均显著（ $p_{\text{激活率}} < 0.001$, $p_{\text{成功率}} < 0.001$ ）。从“1 秒/次”（激活率=76.66%，成功率=73.33%）到“10 秒/次”（激活率=16.66%，成功率=0%）可以看出，随着教学目标激活频率的逐步降低，OpenNARS 的激活率和成功率随之骤降。这意味着教学目标的保持和提醒对学习效果有极大影响。甚至“仅首次”这种只输入一次目标的极端情况，教学引导阶段后所有重复实验均无法激活 OpenNARS。由此，持续目标的重要性可见一斑，说明对教学目标的反复强调能更好地促进 OpenNARS 的学习效果。因此，假设 1 成立。

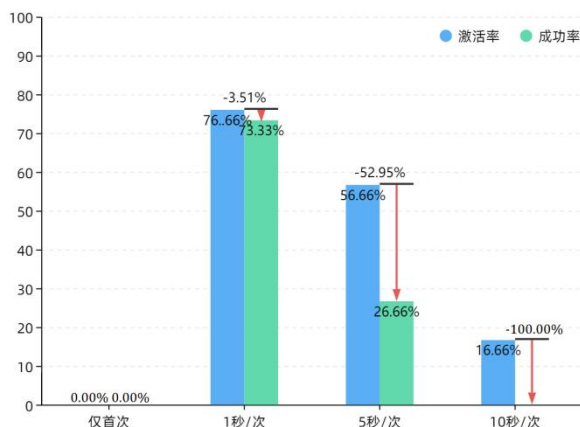


图 7 教学目标对通用人工智能系统学习效果的影响

(二) 实验二：适宜的教育内容对通用人工智能系统学习效果的影响

教育内容是指教学引导阶段为 OpenNARS 输入的正确、错误和随机三类移动指令序列。实验结果（如图 8 所示）表明，初始经验对 OpenNARS 学习的最终效果至关重要，组间差异显著（ $p_{\text{激活率}} < 0.001$, $p_{\text{成功率}} < 0.001$ ）亦可说明不同教学内容对学习效果的影响不同：当教学内容全部为“正确指令序列”时，其激活率（76.33%）

和成功率（73.33%）差异不大，都远高于“错误指令序列”的激活率（6.66%）和成功率（0%）。当教学内容为“随机指令序列”时，教学内容同时包含正确和错误的指令序列，但其激活率（20.00%）和成功率（10.00%）并非处于“正确指令序列”与“错误指令序列”的正中间，而是更接近“错误指令序列”的效果。由此可见，正确的教学内容不仅具有更好的针对性，而且对提升学习者的学习效果也起到举足轻重的作用。因此，假设 2 成立。

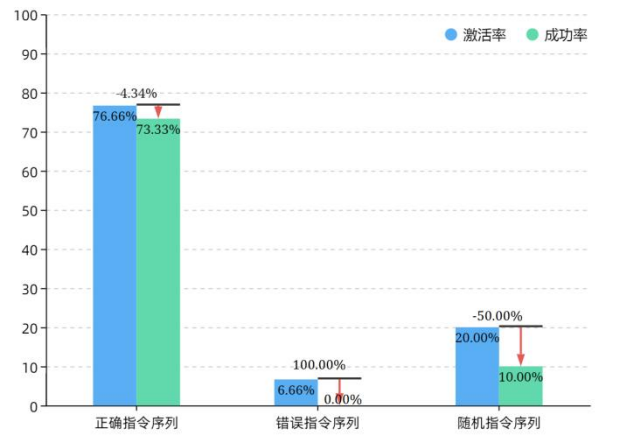


图 8 教学内容对通用人工智能系统学习效果的影响

（三）实验三：适合的教学节奏对通用人工智能系统学习效果的影响

教学节奏意在借助不同的教学间隔时间检视 OpenNARS 对感觉运动信息进行学习的效果。由实验结果(如图 9 所示)可知,“1 秒”间隔时间过短,此种情况下 OpenNARS 拥有最低的激活率(50.00%)和成功率(43.33%)。但当间隔时间增至“3 秒”时,出现了激活率(96.66%)和成功率(83.33%)的最高点。而当间隔时间继续增加到“4 秒”时,激活率和成功率则又分别降至 90.00%和 76.66%。各个组间的差异检验结果均显著 ($p_{\text{激活率}} < 0.001$, $p_{\text{成功率}} < 0.001$)。很显然, OpenNARS 学习效果不是间隔时间越短越好,也绝非间隔时间越长越好,只有给予充足却不冗余的“思考”时间才能促使经验信息被更好地内化和吸收。由此可见,教学节奏“人一机”通用,尺度的把握具有“艺术性”,需要视教学对象与教学内容的差异而定。因此,假设 3 成立。

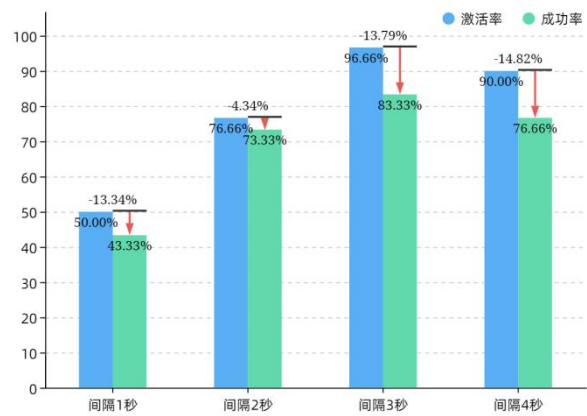


图 9 教学节奏对通用人工智能系统学习效果的影响

（四）实验四：适度的教学空间对通用人工智能系统学习效果的影响

教学空间的实验结果体现了环境对 OpenNARS 学习的潜在影响。随着宽度的增加,成功实现“避障”的方式也在增多:除临界位置“转向”之外,非临界位置间的往返也是一种成功。由实验结果(如图 10 所示)可知,当教学空间水平为“3 个单位长度”时, OpenNARS 拥有最好的学习效果;当教学空间水平扩展至“5 个单位长度”和“7 个单位长度”时,随着运动的空间的增加,学习效果不升反降,而且激活率与成功率之间的差值从 4.34%到 16.67%再到 47.63%,呈现出加速扩大的情况。组间差异检验结果显示,激活率无显著差异 ($p_{\text{激活率}} > 0.05$),但成功率却差异显著 ($p_{\text{成功率}} < 0.05$)。换言之,三种不同空间水平的学习效果差别明显,3 个单位长度的空间成为本任务的最佳教学空间,并且 3 个及以上单位长度的教学空间均可激活 OpenNARS。因此,假设 4 成立。

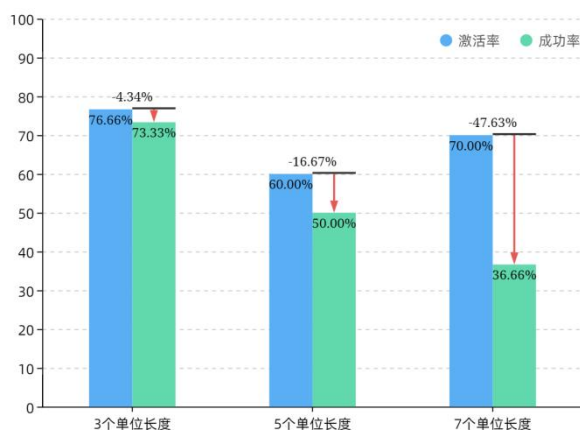


图 10 教学空间对通用人工智能系统学习效果的影响

六、研究结论与讨论

根据上述实验结果，本研究可得到如下结论：

(1) 持续的教学目标能够促进通用人工智能系统的学习效果。当教学目标的传输频率为“仅首次”时，OpenNARS 处于“植物”状态，思维活动匮乏，无法产生学习行为。当传输频率处于“1 秒/次”水平时，任务执行效果最佳，可见通过教育手段持续激活教学目标能有效提升 OpenNARS 的学习效果。人类学习者具有天然的动机系统，最佳动机水平理论（又称耶克斯—多得森定律）表明动机不足或过分强烈都会影响学习效率，人类最佳动机水平与行为效率之间的关联呈倒 U 型曲线^[16]。在实验一中，该曲线也同样出现在通用人工智能系统的行为表现之中，再次印证了通用人工智能系统和人类认知层面上的相似性。

(2) 适宜的教学内容能够促进通用人工智能系统的学习效果。在实验二中，当教学引导阶段输入的教学内容为全部正确指令序列时，OpenNARS 的任务完成度最高，如果传授错误指令则几乎无用。由此，连贯正确的教学内容对学习非常重要。尽管有学者大力提倡“挫折教育”^[17]，但类比于本实验结论，“挫折教育”的成功实际上存在前提条件，即错误经验必须要以正确经验为基础才能发挥作用。如若缺少正确引导的示例和榜样经验，“挫折教育”就会失去根基而变得盲目无效，甚至可能产生负面效果。

(3) 适合的教学节奏能够促进通用人工智能系统的学习效果。实验三印证了教学节奏的必要性和重要性。教学间隔控制在 3 秒时，可使 OpenNARS 对已有信息进行充分推理分析而提升发出正确运动指令的概率。虽然少于 3 秒或多于 3 秒的间隔都出现学习效果的衰减，但间隔 4 秒仍优于间隔 2 秒，说明适当的教学“留白”有利于学习者对教学内容的消化吸收。在课堂教学实践中，人类教师需要权衡学生对知识的内化时间和课堂任务的推进状况。对通用人工智能系统而言，也同样需要调节适合的教学节奏来增强学习效果。

(4) 适度的教学空间能够促进通用人工智能系统的学习效果。当教学空间处于较小的“3 个单位长度”时，OpenNARS 拥有较高的信息利用率，达到最佳水平的学习效果。然而，随着教学空间的延展，感觉信息量激增，OpenNARS 处理和利用信息的压力也随之变大。从发展的视角看，不论人类婴儿还是通用人工智能的机器婴儿，教大的教学空间不仅加重了学习者的认知负荷，同时也迅速降低了主体在环境交互过程中有效感觉信息的占比，阻碍了学习效果的提升。换言之，智能主体成长的初始阶段需要空间，但越大越好，应在躯体的基本运动范围之内最大化提高与目标有关的感觉效用的发生概率。

七、启示与展望

本研究通过受控实验发现人类教学原则同样能够切实提升通用人工智能系统的学习效果。在机器教育可能性的基础上，进一步确证了机器教育的有效性。然而，本研究仍存在某些不足及需要改进之处，如：实验更多利用自变量的理论极值，但更加细致的自变量水平可以得出改善通用人工智能系统学习效果更加准确的教学参数，从而有利于机器教育应用工作的开展。此外，对于教学空间自变量研究中 5 个单位长度的学习效果劣于 7 个单位长度，可能还隐含着其他作用变量。这些问题有待后续研究探查。此外，本研究还有三方面的理论反思与启示：

(1) 虚拟与模拟的差异。尽管“元宇宙”已迅速成为当前教育领域的闪亮热点^[18]，但实证研究及细致的

理论探索仍较为有限。在此问题上，基于本实验的设计与开发，有一个关键的理论问题需要辨析——虚拟和模拟是一对貌似相同却实则迥异的易混概念。事实上，虚拟和模拟是两种不同的技术取向^[19]：虚拟的设计原点内嵌着第一人称的主体视角，强调系统元机制的设计与运作，这种机制既可以是以现实世界规律为蓝本，亦可是完全崭新的设定，因为二者都能被虚拟现实技术所支持；模拟则倾向于第三人称的上帝视角，强调对现实世界表象的模仿和复刻，越细致、越细腻，便越逼真。对模拟而言，自然越逼真越好。但对虚拟来说，是否逼真并不重要，虚拟世界中不同对象之间的互动才最重要。以主流自动驾驶仿真平台 CARLA 为例，油门、转速、刹车、转向等参数非常丰富，但这些参数却是以上帝视角给出并计算，缺少具身嵌入和系统互动特征，更多体现出模拟而非虚拟特性。因此，“元宇宙”教学场景如果拥有逼真的细节，必能大幅增强学习者的临场感。但是，如果学习内容涉及与系统复杂的感知交互，则虚拟环境对主体的即时反馈才是关键。那么，究竟人类的感觉和运动能够在何种程度下迁移至所谓的“元宇宙”中？人们的“数字分身”又能够在何种程度上兼容现实世界的“物质真身”？所幸，通用人工智能系统能够成为认知层面的人类“被试”，可以用其检验元宇宙背后的理论问题。

（2）目标及动机系统的重要性。尽管学习动机一直是教育的常规问题，但是对其内在机制的探索却多见于心理学领域。即便如此，基于认知功能综合视角的心理学讨论仍非常有限。作为一种“类脑”的认知系统，OpenNARS 在四项实验中的学习行为值得深究，特别是“激活”与“成功”的关系更是剖析自治型智能体动机系统内部机制的关键：一方面，系统的“激活”是其行为“成功”的前提和保障。失活状态下，即便不断输入有效的教学材料，也根本无法触发任何行为，更不可能“成功”；另一方面，“激活”的动力源于目标系统，为了维持动机系统的活跃水平，目标需要被反复“强调”。换言之，这也许是未来教育学反哺人工智能的重要突破口。当前，各种专用人工智能系统之所以被戏谑为“有多少人工，就有多少智能”^[25]，很可能在于其学习算法本身内嵌目标的单一化所致。单一目标导向易于建模和最优化计算，适于处理封闭环境的问题。在开放的现实环境下，智能体的实际需求总是多元的，目标是多样的。这种目标之间的复杂关联又具有个性化的经验印记，令传统的机器学习算法纷纷折戟^[26]。面对当前主流人工智能的算法困局及人类婴幼儿时期快速发展的感觉、运动和语言能力，可以预见一条基于通用人工智能机器教育的新路。也许就在不久的将来，教育技术学界能够为计算机科学和机器人学提供可解释、生成式、鲁棒性强的人形机器人运动及主动视觉的教育学解决方案。

（3）学习的主体与学习的科学。对专用人工智能而言，其在教育应用中可具有七种角色：辅导者、教练、评价者、协调者、联通者、同伴及学生^[20]。其中，学生指智能导学系统所模拟、能以某种方式学习的数字代理，它可以让人类学习者临时扮演教师角色进行“教中学”。尽管同伴和学生角色的观感及行为模式似人，但它们均非真正意义上与人类等同的学习者。与此相反，“能自主感知、理解、预测和行动”的通用人工智能系统^[21]不仅需要接受教育，而且可以与人类共享教学经验，但其本身却不必貌似于人，甚至不能与人类太过相像，否则容易出现“恐怖谷”效应^[22]，引发人类学习者对机器厌恶和恐惧的感觉。在人机共通的教育规律背后，蕴藏着一个重大的理论假设：存在跨越人类和机器学习者的普适性学习理论。这意味着，学习的本质也许是一种对开放环境主动适应的认知元能力。对碳基智能而言，从黏菌群体的社交行为^[23]到非人类动物的“语言”交流^[24]，从人类婴儿的先天反射到后天知识技能的习得，学习呈现出横跨物种的连续谱以及愈加注重社会性遗传的特点。对硅基智能而言，专用人工智能的“机器学习”高度依赖数学工具，已成为计算机科学中一门较为成熟的子学科，但通用人工智能的学习机理和学习过程高度依赖教育干预，从而更加接近人类。科学研究强调客观规律在不同研究对象间的可重复性，横跨微生物、植物、动物及计算机系统等不同“学习者”的共同学习原理，既是对学习科学术语的最好注脚，也是构建教育科学理论大厦的奠基石。

总之，“机器教育”是一个崭新的教育科学问题，极具研究价值。有学者对技术引发教育变革持质疑的态度，认为技术并不必然表现为一种解放性的力量^[27]，或由于技术本身的原始创新不足所致^[28]。这种看法并非没有道理，如果置于专用人工智能论域则其成立，毕竟技术作为工具只是优化而未对教育理论体系产生实质影响。但在通用人工智能论域中却并不成立，因技术衍生出新的教育主体，使教育学理论体系跨进“人一机”二元主体时代。随着机器教育相关研究的不断深入，必将产出更多具有鲜明技术性和交叉性的教育学成果，推动有中国话语特色的“大教育学”的发展与繁荣^[29]。

[参考文献]

[1] 马克·李.智能机器人养成记:开发人类友好型机器人[M].刘红泉,译.北京:机械工业出版社,2021:13-17.

- [2] 李芒,余露瑶.必须加强教育技术基础理论研究[J].电化教育研究,2022,43(09):5-13.
- [3] Yuntao B, Andy J, Kamal N, Amanda A, Anna C, Nova D, Dawn D, Stanislav F, Deep G, Tom H, Nicholas J, Saurav K, Jackson K, Tom C, Sheer E, Nelson E, Zac H, Danny H, Tristan H, Scott J, Shauna K, Liane L, Neel N, Catherine O, Dario A, Tom B, Jack C, Sam M, Chris O, Ben M, Jared K. Training a helpful and harmless assistant with reinforcement learning from human feedback[EB/OL].(2023-01-10)[2023-02-20].
<https://arxiv.53yu.com/abs/2204.05862>.
- [4] 刘凯,贾敏,黄英辉,胡祥恩,王培.像教育人一样教育机器——人类教学原则能用于通用人工智能系统吗[J].开放教育研究,2022,28(2):11-21.
- [5] 戴益斌.为理智主义辩——从人工智能的视角出发[J].湖北大学学报(哲学社会科学版),2022,49(01):154-161.
- [6] 刘凯,胡祥恩,王培.机器也需教育?论通用人工智能与教育学的革新[J].开放教育研究,2018,24(01):10-15.
- [7] 安吉洛·坎杰洛西,马修·施莱辛格.发展型机器人:由人类婴儿启发的机器人[M].晁飞,译.北京:机械工业出版社,2017:111-137.
- [8] PEI W, CHRISTIAN H, PATRICK H. A Model of Unified Perception and Cognition[J]. Frontiers in Artificial Intelligence, 2022,5:1-14.
- [9] VAN ATTEVELDT N, VAN KESTEREN T, BRAAMS B, KRABBENDAM L. Neuroimaging of learning and development: improving ecological validity[J]. Frontline Learning Research, 2018, 6(3): 186.
- [10] 刘凯,贾敏.探索基于通用人工智能的自动驾驶[N].中国社会科学报,2022-08-23(007).
- [11] 马会梅.坚持新课程倡导的教学原则[J].安顺师范高等专科学校学报,2005(01):9-10.
- [12] 张楚廷.凯洛夫教学原则探疑[J].当代教育论坛,2012(3):123-125.
- [13] 巴拉克·罗森海因,蒋慧,盛群力.教学原则:所有教师应了解的循证策略[J].课程教学研究,2017(7):8-15.
- [14] 邱婷,钟志贤.有效教学原则:客观主义视角[J].现代远距离教育,2007(3):15-18.
- [15] GRAESSER C. Inaugural Editorial for Journal of Educational Psychology[J]. Journal of Educational Psychology, 2009, 101(2):259-261.
- [16] LEWTHWAITE R, WULF G. Optimizing motivation and attention for motor performance and learning. Current opinion in psychology, 2017,16:38-42.
- [17] 杨柳.挫折教育在我国基础教育阶段的价值与意义[J].教学与管理,2015(21):68-70.
- [18] 翟雪松,楚肖燕,王敏娟,张紫微,董艳.教育元宇宙:新一代互联网教育形态的创新与挑战[J].开放教育研究,2022,28(1):34-42.
- [19] DESHKO P, KRYAZHENKOV G, CHEHARIN E. Virtual Technologies[J]. Modeling of Artificial Intelligence, 2016(1):33-43.
- [20] 李维.新智元笔记:微软小冰,人工智能聊天伙伴(1)[EB/OL]. (2015-12-11)[20221001].
<https://blog.sciencenet.cn/home.php?mod=space&do=blog&id=942504>.
- [21] 徐英瑾.人工智能哲学十五讲[M].北京:北京大学出版社,2021:25-27.
- [22] 张志祯,张玲玲,徐雪迎,刘佳林.人工智能的教学角色隐喻分析——以人工智能教育应用领域高影响力项目为例[J].中国远程教育,2019(11):24-37+57+93.
- [23] LATAPIE H, KILIC O, LIU G, YAN Y, KOMPPELLA R, WANG P, THÓRISSON R, SUN Y, SRINIVASA J. A metamodel and framework for artificial general intelligence from theory to practice[J]. Journal of Artificial Intelligence and Consciousness, 2021,8(2):205-227.
- [24] MORI M, MACDORMAN F, KAGEKI N. The uncanny valley[J]. IEEE Robotics & automation magazine, 2012,19(2):98-100.
- [25] JACOB B, BECKER I, SHAPIRA Y, LEVINE H. Bacterial linguistic communication and social intelligence[J]. TRENDS in Microbiology, 2004,12(8):366-372.
- [26] ČADKOVÁ L. Do they speak language?[J]. Biosemiotics, 2015,8(1):9-27.
- [27] 阎光才.信息技术革命与教育教学变革:反思与展望[J].华东师范大学学报(教育科学版),2021,39(07):1-15.
- [28] 周子荷.教育领域技术原始创新的历史、逻辑与未来——兼论人工智能的教育意蕴[J].开放教育研究,2021,27(02):34-41.
- [29] 侯怀银,王晓丹.教育学中国话语体系的大教育学建构[J].教育研究,2022,43(01):62-71.

Teach Machines as Human:

Can Human Teaching Experiences Improve the Learning of Artificial General Intelligence System?

LIU Kai¹ JIA Min³ SUN Changxin² MA Yuhui¹ WANG Weijun³

(1.Institute of Artificial General Intelligence of Bohai University, Jingzhou Liaoning 121013;

2.Department of Educational Science, Bohai University, Jingzhou Liaoning 121013;

3.Department of Psychology, Central China Normal University, Wuhan Hubei 430079)

Abstract: Artificial Intelligence(AI) has been divided into two branches named Special purpose AI(SAI) and Artificial General Intelligence(AGI). Both of them can be integrated with education, but there is an essential difference: SAI focuses on using AI to solve the current educational problems, such as intelligent education; The latter, in turn, wonders to know whether current AI problems can be solved by educational tools, such as machine education. Previous studies had proved the necessity and possibility of machine education. Therefore, this study verifies the influence of human education experience on the learning of AGI system by creating the embodied experiment of "obstacle avoidance test ". Independent variables come from four important factors affecting human teaching process, which are teaching objective, teaching material, teaching rhythm and teaching space. The results show that the AGI system has highly similar sensitivity to human learners in terms of the activation frequency of teaching objectives, the accuracy of teaching content, the time interval of teaching rhythm and the size of teaching space, and can get better learning results with more reasonable teaching parameters. Therefore, human educational experiences can also be applied to AGI systems theoretically. The validation of the objective educational principles adapting to both human and machine not only powerfully refutes doubts about the scientific nature of educational theory with specific evidence but also holds the potential for education to provide reverse feedback to AI research.

Keywords: Education, Artificial General Intelligence, Machine Education, Teaching Principles, Effectiveness