DOI:10.13811/j.cnki.eer.2017.09.014

中小学机器人教育的核心理论研究

——论实验模拟型教学模式

李婷婷， 钟柏昌

（南京师范大学 基础教育人才培养模式协同创新中心，江苏 南京 210097）

[摘 要] 实验教学在中小学教育中已有广泛的应用基础，这种教学模式也被引入到日益普及的机器人教育中。但传统实验教学中存在机械性地“演示模仿”和“按图索骥”的弊端，对此，本研究尝试建构一种适用于中小学机器人教育的实验模拟型教学模式，以彰显机器人教育的核心价值。实验模拟型教学以机器人相关技术作为教学内容的主体，将机器人作为学习的对象，以掌握机器人本体知识为导向。与传统的“演示模仿型”或“按图索骥式”实验教学不同，机器人实验模拟型教学强调从既有产品出发，让学生经历把玩和摆弄、产品解构与复原、产品需求分析、设计可选方案、制作原型、测试与评价等阶段，使学生在设计和重构产品的过程中，体验科学原理与技术技巧物化为产品的实现过程，从而提高其设计能力和问题解决能力。

[关键词] 实验模拟型教学；中小学机器人教育；逆向工程；纠错学习

[中图分类号] G434 [文献标志码] A

[作者简介] 李婷婷（1992—），女，四川达州人。硕士研究生，主要从事为中小学机器人与创客教育研究。E-mail：364973790@qq.com。钟柏昌为通讯作者，E-mail：zhongbc@163.com。

实验模拟型教学源于传统的实验教学。传统的实验教学本质上是一种非工程教育的教学，尤其体现在机器人实验教学中缺乏系统的工程方法的指导，在解决问题的过程中，还忽视了对学生的分析、观察、测量、记录和推理等高阶能力的培养。与之相反，我们认为机器人教育本质上是一种工程教育[1]。在工程教育中，工程方法和创新实践（体现于物化成果当中）是其核心内容，而技术工具的理解和使用是其基本条件。也就是说，有关工程活动的基础知识、基本技能、基本方法（简称“三基”）和实践创新构成了工程教育的主体内容，其中，基础知识、基本技能和基本方法是走向实践创新的前提。基于循序渐进的教学原则，在学习机器人的初期，学生首先要掌握机器人相关的基础知识、基本技能和基本方法，为进一步的创新实践做好准备。实验模拟型教学正是满足这种教学需求的常用教学模式，通过设计机器人作品模拟再现生活中的实际场景，例如火灾报警或自动风扇等，学生能够更好地理解机器人的工作特点，并掌握机器人相关的科学技术知识、操作技能和设计方法。基于此，我们提出重构实验模拟型教学的内涵，以此替代传统的实验教学[2]。

一、核心理论基础与教育应用

实验模拟型教学模式强调学生通过机器人编程与硬件搭建模拟或再现既有科技产品的原型，以体验工程制造中科学原理与技术技巧物化为产品的实现过程。可以发现，这一教学过程实际上包含工程活动的核心内容—工程设计。同时，实验模拟教学又与逆向工程具有高度一致性，即通过分析已有的工程物体，了解这些物体是如何设计和工作的，再进行修改、模仿和再造。再者，在机器人硬件搭建和软件编程的过程中，各种故障时有发生，并且故障的原因多样，需要寻找故障的根源并设计解决方案，这又涉及另一个理论基础，即基于纠错的学习。

（一）工程设计思想

工程设计思想是从工程设计的理论和实践中总结而来。

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

主要体现出工程设计思想的系统性和全局性,包括:(1)对系统动态变化情况的预测,即对系统内各部分互相作用产生的结果的推测;(2)处理不确定问题,因为通过简化抽象的工程模型在工程实践中可能会产生不可预料的后果;(3)作出评估,在多个变量中优先选出最重要的因素并确定其物理参数;(4) 进行实验,系统的工程设计不仅要参照相关的科学原理和经验数据,还需进行实验帮助分析和理解设计问题[3]。

(二)逆向工程思想

逆向工程(Reverse Engineering),又称反求工程或反向工程,是以先进产品的实物、样件、软件等作为研究对象,通过现代设计理论、方法、测量技术对已有产品进行建模、仿真,最终实现优化既有产品和再创造的过程 [4-5]。逆向工程是相对于一般正向工程而言的, 正向工程活动的过程可以粗略概括为三个阶段:计划设计阶段、实施阶段和使用阶段[6],可理解为产品设计—产品生产—消费使用的过程。相对的,逆向工程活动的过程则分为使用阶段、计划设计阶段和实施阶段, 是从产品使用到产品设计再到产品生产的过程。

(三)纠错学习理论

纠错,也称故障检测,是问题解决的一种常见形式。技术人员(如机械师、电工)及专业人员(如医生、治疗师)通过诊断系统中的故障,采取直接的、正确的行动来修正故障,使系统恢复到正常状态[7]。纠错在工程设计中非常重要, 工程师通过迭代的纠错过程,最终设计出符合客户需求的产品。

在教学中,纠错的应用涉及两个层面。第一个层面是指在工程教育中,纠错是工程设计必不可少的一个重要环节,是自然发生的。学生需要从工程设计师的角度来不断修正和调整自己设计的作品,以符合预期的目标。第二个层面是指在教学中教师人为设计的纠错任务, 或是提供业已用坏或损坏的残缺作品,让学生接受系统的纠错任务训练, 发现故障产生的根源,复原作品功能。

二、实验模拟型教学模式的建构

工程设计思想、逆向工程思想和纠错学习理论为机器人实验模拟教学提供了良好的理论基础,但若直接“拿来”指导实验模拟型教学,未必适宜。实验模拟型教学是机器人学习的初级阶段,注重通过模拟再现已有工程事物来促进“三基”的掌握,若直接沿着工程设计过程来指导教学有一定难度,而逆向工程提供了一种更加可行的思路。实际上,逆向工程并非是对一般工程过程的彻底颠覆,只是从已有产品出发,在深入了解已有产品的基础上,作出改进或再设计。可以发现,逆向工程思想的内涵与工程设计思想并无本质上的区别,对于入门的学生而言,逆向工程的操作性更强,也更符合学生的学习习惯。此外,机器人初学者易出现各种错误,尽管不断试错是问题解决的方式之一,但并不值得提倡。因此,学生需要掌握常用的纠错方法和纠错的一般过程, 以减少试错次数和时间,从而提高学习效率和问题解决能力。

综合以上考虑,本文在反映工程设计一般思想的基础上,以逆向工程作为核心思路,并融合纠错学习理论,建构了一个六阶段的机器人实验模拟型教学模式:把玩和摆弄、产品解构与复原、产品需求分析、设计可选方案、制作原型、测试与评价。该模式帮助学生在设计和重构产品的过程中,了解抽象的、理论性的科学技术知识转变为社会所需的产品和服务的过程,从而提高其设计能力和问题解决能力。需要注意的是,由于学生在学习习惯、已有的学习基础等方面存在差异,在教学过程中可根据实际情况对这六个阶段作相应取舍, 有侧重地选择部分阶段开展教学活动,而不必苛求六个阶段的完整性。

(一)把玩和摆弄(Playing)

本环节的教学意在吸引学生学习的兴趣,明确既有产品的功能,掌握其使用方法。把玩和摆弄可以作为一种有价值和有效的教学活动,当学生摆弄手工制品,他们经常会发现创意,然后体验新的可能性。在机器人教学中,先让学生玩一玩现有的物品,而不是直接给他们讲解学科知识, 能够减少学生的畏难情绪,创造轻松的学习环境,同时在玩的过程中了解真实产品的功能和使用方法,为后面的学习做好准备。

(二)产品解构与复原(Dissecting and Recovery)

本环节的教学意在让学生用逆向工程思维来理解工程设计过程,通过观察、分析产品结构和功能,学习相关的学科知识。产品解构意指拆解、拆分机器人作品,观察作品各部分的结构组成以及功能实现的原理。学生在拆解的同时需要对各零部件作好测量和记录,并推断产品设计的意图,学会分析和揣摩别人的设计过程。在熟悉其结构的基础上,还应该根据拆解记录复原作品,进一步熟悉作品的构成。

(三) 产品需求分析 (Analyzing of Product Requirement)

本环节的教学意在让学生理解工程设计是价值导向的活动,在设计中需要充分考虑产品应满足的需求,以“制造”出有实际价值的物品。对已有产品进行

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

剖析以后，学生需要明确将要设计的机器人能够解决实际生活中的哪些问题。以智能风扇为例，声控风扇在黑暗环境中便于控制，自动变速风扇能根据人与风扇的距离或温度自动调整转速，而遥控风扇则能用遥控器实现对风扇的多种控制。

（四）设计可选方案（Designing Multiple Solutions）

本环节的教学意在让学生针对问题提供可选的多种解决方案，提高工程设计能力。根据产品需求分析的结果设计可选方案是非常重要的环节，工程师的一项重要能力就是能针对问题设计多种解决方案。设计者需要明确以下问题：我应该制作什么？制作的作品是怎样运行的？在设计中哪些因素对目标是起关键作用的以及如何操作以实现目标？[8]例如要实现对风扇的智能控制，可以有多种途径来实现，包括用模拟声音传感器获取声音信号，然后利用直流电机驱动风扇；利用超声波传感器获取人与风扇的距离，并将距离值转化为相应的风扇转速；或者获取遥控器不同按键的键值，通过判断键值赋以电机相应的转速值或停止电机。

（五）制作原型（Prototyping）

实验模拟型教学的最终成果是模拟再现已有的参照物体，本环节的教学旨在让学生动手制作自己设计的机器人原型，理解科学技术知识如何转化为实际产品，以获取更深层的学习体验。制作原型之前，需要从可选方案中选择最佳的设计方案，以保证产品“制造”过程能够顺利进行。设计者需要系统考虑多方面的限制条件，如特定“客户”的需求、成本、安全、制造、环保、文化和综合性因素。在选择的最佳方案基础上，使用机器人模拟制作产品原型，包括机器人的造型搭建和程序设计。如制作智能风扇，将风扇电机、传感器和主控板连接好，搭建一定的造型，然后编写程序实现传感器与电机的配合运行。

（六）测试与评价（Testing and Assessing）

测试与调试是工程设计的重要组成部分。机器人制作过程中允许故障再现，允许学生试错，甚至可以人为制造故障以便通过实验反证正确的理论和方法，因此本环节的教学意图就是用这种方法锻炼学生解决真实问题的能力。机器人作品原型制作过程中，涉及大量的测试与调试工作，且越复杂的系统测试与调试的难度越大。学生在动手排除故障和解决问题中获得的直接经验对学生的发展是非常重要的，因为当他们将来遇到类似的真实问题，他们能够在已有经验的基础上快速形成类似问题解决的系统心理表征[9]。而且，学生经过不断的测试与调试，使自己设计的机器人最终达到预期的目标，可以极大地增强学习成就感。

在机器人实验模拟教学中可以采取多种方式来评价学生的学习，包括标准测试、问题解决能力问卷调查、机器人作品评价以及观察等方式。这些评价方法的综合使用能够较全面地多角度评价学生的学习效果，教师也能根据学生的学习情况及时反思并调整教学活动的设计，不断提高教学质量。

1. 标准测试

针对机器人课程的学习内容，设计相关的测试题，能够快速直接地获取学生对基础知识和基本技能的掌握情况。标准测试可以设置前测和后测，根据教学的实际需要，可以前后测都作，或只作后测。标准测试的内容包括课堂学习的相关知识点，例如机器人程序设计、传感器等相关知识。

2. 问题解决能力问卷调查

问题解决能力问卷调查也可以作前测和后测，在操作过程中可以采用李克特量表，从多个维度来调查学生的实际问题解决能力。可参考已有研究的做法，从发现问题、提出多种可能的解决方案、选择最佳解决方案、建立原型、测试原型等维度来设计问卷，开展调查[8]。

表 1　　机器人作品评价表

一级指标	二级指标	得分
功能与性能（3 分）	1.作品能够基本实现预定的功能（2 分）	
	2.作品性能稳定，多次测试使用后仍能稳定运行（1 分）	
技术与实现（5 分）	1.能够应用本节所学新知识制作作品（1 分）	
	2. 能够综合运用以前所学机器人及其他学科知识制作作品（1 分）	
	3.能够清晰、准确地描述作品设计方案（1 分）	
	4.作品开发方案和实现过程简洁、经济、有效（2 分）	
创意与个性（2 分）	1.作品在功能方面构思新颖、富有个性（1 分）	
	2.作品在技术方面（如结构、材料、外形包装或控制方法等）有创新设计（1 分）	
总　分（10 分）		

3. 机器人作品评价

对学生自主搭建的机器人作品进行评价，可以从机器人作品的功能与性能、技术与实现、创意与个性等方面进行评价。例如笔者在开发高中“开源硬件项目设计”教材中使用的作品评价表，见表 1。

4. 观察与提问

在学生解决问题的过程中，还可以通过观察来评

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

价。例如观察学生如何发现关键问题,或对学生提问,观察他们能否理解相关概念。又如,学生在设计和制作原型时,可以观察记录学生是如何制作、思考、迎接新的挑战和寻找解决方案的,以及他们在解决问题时的迭代频率。利用观察记录搜集的这些信息可以描述学生的学习轨迹,也能帮助教师分析学生的问题解决过程。

表 2　　自动变速风扇的可选方案

方　案	方案描述
方案一(距离控制)	利用超声波传感器测距,在某个范围内,与人的距离越大,风扇转动速度越大;距离越小,风扇转动速度越小
方案二(距离控制)	利用热释电红外传感器检测人,当有人时利用超声波传感器测距,在某个范围内,与人的距离越大,风扇转动速度越大;距离越小,风扇转动速度越小
方案三(距离控制)	利用红外距离传感器测距,在某个范围内,与人的距离越大,风扇转动速度越大;距离越小,风扇转动速度越小
方案四(温度控制)	利用温度传感器控制风扇,温度高于一定值时,风扇开启,温度越高,风扇转动越快

三、典型教学案例

本文以“自动变速风扇”作为实验模拟型教学的典型教学案例,为节约篇幅,仅从教学实施的六个环节进行描述。

1. 把玩和摆弄

教师介绍智能风扇的相关背景知识,并安排学生观察生活中的智能风扇,让学生在把玩和使用的过程中了解风扇的功能,并熟悉使用方法。

2. 产品解构与复原

教师组织学生拆解教学用的智能风扇,并发给学生观察记录表,让学生在拆解过程中记录风扇的组成部分、各组成部分的功能、各零部件的连接方式等,并推测风扇的各项功能是如何实现的。学生拆解和记录完成后,教师讲解自动变速风扇各项功能实现的原理;启发学生思考用机器人如何实现这些功能:怎样编写程序、需要用到哪些器材、器材的连接等。最后要求学生按照记录表复原风扇。

3. 产品需求分析

学生开始构思自己的自动变速风扇。在具体设计之前,教师需要引导学生思考:与拆解过的风扇相比,我要设计怎样的风扇?这个风扇应该具有什么样的功能和价值?例如,设计利用距离控制电机转速的风扇,或者设计用温度控制电机转速的风扇。

4. 设计可选方案

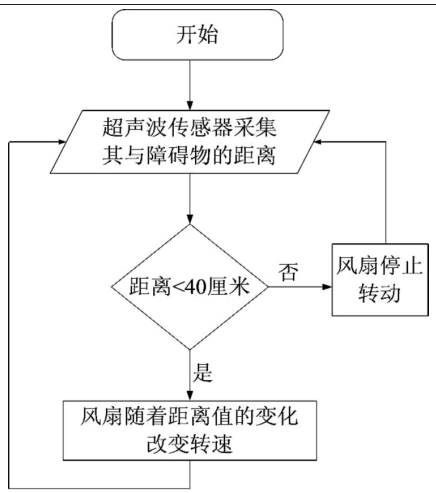
通过需求分析,学生可以从距离控制和温度控制两个角度出发设计智能风扇,形成可能的初步方案,见表 2。

5. 制作原型

首先根据可选的方案,引导学生分析各方案的可行性。

从学习内容的难度来看,方案二涉及热释电红外传感器,并且还有选择结构的嵌套,难度较大,其他三种方案难度比较适中;从趣味性的角度看,距离控制比温度控制更有趣一些;从成本角度看,使用红外距离传感器的成本要高于超声波传感器。因此,基于统筹与折中的工程设计思想,在综合考虑学习难度、课堂时间和成本等因素后,选择方案一作为最终实施方案。

表 3　　自动变速风扇的设计方案

作品名称	自动变速风扇
作品功能	根据距离自动控制风扇的转速
器材清单	Romeo、USB 数据线、HC-SR04 超声波传感器、直流电机、风扇、公母线
运行流程	
实现过程	1.直流电机、超声波传感器与 Romeo 连接 2.编写程序,实现风扇自动变速 3.上传程序,测试效果

实现方案一,首先需要让小风扇转起来,因是一个原型作品,我们可以采用小型的直流电机来驱动风扇。关键问题在于如何控制风速随着人与风扇的距离而自动变化,这又涉及两个问题,一是距离信息的自动检测,二是距离与风扇速度的对应关系,前者可以采用超声波传感器来获取,后者则需要使用映射函数来给电机赋值。具体设计方案见表 3。

接下来根据最终方案制作自动变速风扇原型,包

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

括硬件搭建和程序编写，具体操作过程不再赘述。

6. 测试与评价

由于电机载重的不同，使其转动的最小 PWM 值也会不同，让学生自己检测一下使风扇转动的 PWM 值最小是多少，并记录下来。还可能出现因映射范围过大导致风扇转速变化并不明显的问题，要引导学生积极测试并找出原因和解决办法。还可以让学生举一反三，实现不同的功能，例如：距离风扇越近，风扇转动越快。当然，学生也可以根据自己的理解和需求，添加或修改既有自动变速风扇的设计方案，形成有一定个性色彩的作品。最后，可以引导学生依据表 1 评价最终作品质量，并组织分享活动，交流经验。

四、总　结

本文从工程教育的角度探讨了中小学机器人教育中的实验模拟型教学模式，该模式具有促进学生掌握“三基”知识和增强工程实践能力等教育价值，对中小学机器人教育的普及推广与工程教育的实施均有重要意义。

为发挥该教学模式的最大效用，在实践中还需注意的是，设计被视为工程的核心，应强调工程设计在问题解决中的应用，让学生熟悉工程设计的一般过程，掌握确认和解决问题的工程性方法。对于教育者来说，需要根据学生的思维过程，调整教学方法。研究表明，在工程设计中，学生（高中生）在前期信息收集阶段、对想法的可靠性分析、可选方案的评估以及制定决策方面，花费的时间均远少于工程专家；高中生的工程设计思维中，缺少从用户的视角来解决问题，学生倾向于围绕单一的解决方案开展设计，而不是对多种方案进行比较[10]。因此，在教学中，需要针对学生的这些特点作针对性的引导，才能开展有效的教学活动。

实验模拟型教学主要通过模拟再现生活中的事物来学习机器人学科知识，这种模式不强调创新，而创新能力的培养是机器人学习的一个重要目标，因此在机器人学习的高级阶段，实验模拟型教学模式可能不再适用，需要引入其他更符合需要的教学模式，如趣味交互型教学、科学探究型教学和发明创造型教学等。

此外，必须注意到，实验模拟型教学有其特定的适用范围，也有其局限性。

（一）适用的教学内容与目标

基于“三基”的定位，实验模拟型教学模式主要适合于如下内容与目标的教学：掌握面向对象程序编写的基本方法；理解基于“控制—传感—通信—结构”框架下的机器人运作原理，掌握控制简易机器人的基本方法，知道常用的传感器及其使用方法，了解机器人的基本物理结构和传动机制，能够使用 3D 打印、激光雕刻等新技术设计结构件；理解测试与调试的工程设计方法[11]。

（二）适用的教学阶段

鉴于小学、初中、高中每一个阶段都有“基础教育”之义，机器人课程同样如此，因此，实验模拟型教学模式在每一个学段都有适用的空间，即适用于每一学段机器人课程学习的初始阶段——课程开展的前期甚至中期。在机器人课程学习的前期，通过实验模拟教学使学生掌握机器人相关的学科知识，可以做简单的机器人搭建和程序设计任务，例如用机器人模拟“防跌落”小车，通过控制机器人发展良好的运动技能和手眼协调能力；在机器人课程学习的中期，学生通过模拟再现生活中更复杂的系统，如用 Arduino 制作“MaKeyMaKey”以模拟鼠标和键盘交互[12]，进一步提高问题解决能力，尤其是逆向工程能力和纠错能力。

（三）适用的教学组织规模与教学场所

实验模拟型教学适用于人数较多的普通班级授课。这种教学模式操作简单，只要提供足够的机器人器材和计算机，就可以开展大规模的教学活动。具体而言，既可以在创客空间中实施教学，也可以在改造后的计算机教室组织教学。在机器人普及教育阶段，使用这种教学模式便于机器人教育的普及推广。

[参考文献]

[1] 钟柏昌.中小学机器人教育的困境与突围[J].人民教育，2016(12)：52-55.

[2] 钟柏昌.中小学机器人教育的核心理论研究——机器人教学模式的新分类[J].电化教育研究，2016(12)：87-92.

[3] DYM C L, AGOGINO A M, ERIS O, et al. Engineering design thinking, teaching, and learning [J]. Journal of engineering education, 2005, 94(1): 103-120.

[4] 黄诚驹.逆向工程综合技能实训教程[M].北京：高等教育出版社，2004：5.

[5] 祖文明.逆向工程技术的应用及国内外研究现状及发展趋势[J].价值工程，2011(21)：30-32.

[6] 李伯聪.工程与工程思维[J].科学，2014，66(6)：13-16.

[7] JONASSEN D H, HUNG W. Learning to troubleshoot: A new theory-based design architecture [J]. Educational psychology review,

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2006, 18(1): 77–114.

[8] LI Y,HUANG Z,JIANG M et al. The effect on pupils´ science performance and problem solving ability through lego: An engineering design–based modeling approach[J]. Journal of educational technology & society,2016,19(3):143–156.

[9] CRISMOND D P. Scaffolding strategies for integrating engineering design and scientific inquiry in project–based learning environments [M]// Fostering human development through engineering and technology education, 2011:235–255.

[10] MENTZER N, BECKER K, SUTTON M. Engineering design thinking: High school students´ performance and knowledge[J]. Journal of engineering education, 2015, 104(4):417–432.

[11] 钟柏昌,张禄.基于核心素养的中小学机器人教材内容设计[J].中小学信息技术教育,2015(6):14–16.

[12] 谢作如.自制 MaKeyMaKey[J].中国信息技术教育,2015(21):79–80.

Study on Core Theories of Robot Education in Primary and Secondary Schools: Experiment Simulation Teaching Model

LI Tingting, ZHONG Baichang

(Collaborative Innovation Center for Talent Cultivating Mode in Basic Education, Nanjing Normal University, Nanjing Jiangsu 210097)

[Abstract] Experiment teaching has been widely used in primary and secondary schools, and this teaching model has been introduced to the increasingly popular robot education. However, in traditional experiment teaching, there exist the disadvantages of mechanical "demonstration imitation" and "picture drawing". In this paper, an experiment simulation teaching model is constructed which is proper for primary and secondary schools to demonstrate the core value of robot education. This model is characterized by taking robot–related technology as main teaching content and the robot as learning object, which aims to make students grasp the knowledge of robot ontology. Different from the traditional experiment teaching model, robot experiment simulation teaching emphasizes exploring and interacting with the existing products to engage students with the following learning stages: playing, dissecting and restoring, analyzing product requirements, designing multiple solutions, prototyping, testing and assessing. During the process of designing and reconstructing the products, students understand how scientific principles and technical skills are transformed into products, and improve their design ability and problem–solving ability.

[Keywords] Experiment Simulation Teaching; Robot Education in K–12; Reverse Engineering; Troubleshooting

---

(上接第 77 页)

perception, supporting the corresponding gestures and movements, integrating technology naturally, providing a variety of learning resources, designing learning space flexibly, paying attention to learning motivation and stimulating pleasant emotions. The method of practical application and future development orientation are also suggested in this paper.

[Keywords] Embodied Cognition; Embodied Learning Environment; Physical Participation; Multichannel Perception; Commensurate Gesture

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net